

**OPTIMIERTE POSITIONIERUNG  
ZENTRALER VENENKATHETER  
MIT HILFE DER EKG-METHODE**

**GESCHICHTE – HINTERGRÜNDE – NEUE  
ERKENNTNISSE  
ZU EINER ALTEN METHODE**

**HABILITATIONSSCHRIFT**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae habilitatus (Dr. med. habil.)  
in dem Fach Anästhesiologie  
vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Schiller Universität Jena  
von  
**Dr. Wolfram Josef Wilhelm Schummer**  
geboren am 16. November 1958 in Freiburg/Breisgau

---

## **Gutachter**

1. Professor Dr. Thea Koch
2. Professor Dr. Konrad Reinhart
3. Professor Dr. Klaus Pethig

Tag der öffentlichen Verteidigung: 25.01.2007

Tag des öffentlichen Vortrags (Lehrprobe): 22. 03.2007

---

# INHALT

1.	Zusammenfassung.....	1
2.	Einleitung.....	3
2.1	Historische Entwicklung der zentralvenösen Katheterisierung .....	4
2.2	Katheterkomplikationen: Definition, Übersicht und Fehllagen .....	9
2.3	EKG-unabhängige Methoden der ZVK-Lagekontrolle .....	15
2.4	EKG-Methode zur ZVK-Lagekonntrolle.....	16
2.4.1	Historische Entwicklung.....	16
2.4.2	Bewertung der EKG-Methode aus juristischer Sicht.....	18
2.4.3	Elektrophysiologie .....	19
2.4.2.1	Konventionelles EKG .....	20
2.4.2.2	Intraatriales EKG .....	22
2.4.3	Theorie und Praxis der EKG-Methode .....	24
2.5	Fragestellung/Untersuchungen .....	26
3.	Eigene Untersuchungen .....	29
3.1	Ist die Intra-atriale EKG-Methode zuverlässig bei der Positionierung zentraler Venenkatheter über die V. jugularis interna sinistra? .....	31
3.2	Wie verläuft die perikardiale Umschlagfalte in Bezug zur Vena cava superior und welche Bedeutung hat ihre Anatomie für die Positionierung zentraler Venenkatheter? .....	34
3.3	Wird mit der EKG-Methode bei der Positionierung von zentralen Venenkathetern eher die perikardiale Umschlagfalte oder der rechten Vorhof detektiert? .....	37
3.4	Lässt sich mittels so genanntem „intraatrialem EKG“ eine geeignete Positionierung zentralvenöser Katheter sicherstellen? .....	40
3.4.1	Tierexperimentelle Studie.....	40
3.4.2	Klinische Studie.....	41
3.5	Lässt sich eine extravasale Lage von zentralen Venenkathetern bei korrekter EKG-Ableitung ausschließen? .....	42
3.6	Lässt sich durch eine modifizierte Anwendung der intravasalen Elektrokardiographie, validiert mit Hilfe der transösophagealen Echokardiographie, eine optimierte Positionierung zentraler Venenkatheter erreichen? .....	45
4.	Diskussion .....	50
4.1	Optimale Katheterlage - Wo soll die Spitze eines ZVK positioniert sein?.....	51
4.1.1	Anatomie der Vena Cava Superior.....	52
4.1.2	Katheterfunktion .....	54
4.1.3	Thrombose .....	56
4.1.4	Freie Beweglichkeit .....	58
4.1.5	Perforation.....	59
4.1.6	Positionsänderung aufgrund von Körperbewegung.....	62
4.1.7	Arrhythmie .....	63
4.1.8	Angestrebte Position der ZVK- Spitze .....	64
4.2	Lagekontrolle an Hand von Formeln .....	64
4.3	Klinische Funktionsproben .....	66
4.4	Radiologische Lagekontrolle .....	67
4.5	Lagekontrolle mit Hilfe der transösophagealen Echokardiographie....	74
4.5	Katheterpositionierung mit Hilfe der EKG-Methode .....	77
5.	EKG-Methode - Fazit, Problematik, Ausblick.....	86

6.	Literatur .....	90
7.	Abkürzungen .....	101
8.	Danksagung .....	103
9.	Selbstständigkeitserklärung.....	106
10.	Erklärung über frühere oder laufende Habilitationsverfahren .....	108
11.	Curriculum vitae .....	110
12.	Publikationen.....	114
12.1	Veröffentlichungen in referierten Fachjournalen.....	115
12.2	Poster und Abstracts .....	118
12.3	Vorträge auf Einladung.....	120
12.4	Gutachtertätigkeit für Publikationen.....	122
12.5	Buchbeiträge und Anderes .....	122
13.	Lehrveranstaltungen.....	123
14.	Mitbetreuung von Dissertationsarbeiten .....	127
15.	Publikationen der Habilitationsschrift.....	130



1.

---

## ZUSAMMENFASSUNG

Die EKG-Methode zur Positionierung zentralvenöser Katheter (ZVKs) ist eine – zumindest in Deutschland – gängige Praxis, die auch als alleiniges Kontrollverfahren (außer bei Punktionen der Vena subclavia) juristischen Ansprüchen genügt.

In der Praxis fällt auf, dass linksseitige ZVKs, die mit dieser Methode platziert wurden, häufig eine eingeschränkte Funktion aufweisen und darüber hinaus oft einen kritischen Winkel von über 40° mit der lateralen Wand der Vena cava superior bilden.

In den folgenden Studien wurde dieses bislang nicht beschriebene Phänomen systematisch an Leichen, Schweinen und kardiochirurgischen Patienten untersucht.

Mit Hilfe der transösophagealen Echokardiographie stellten wir fest, dass die bisherigen Interpretationen der EKG-Kurven in Bezug auf ihre anatomische Zuordnung falsch sind.

Aufgrund der korrigierten Zuordnung der EKG-Signale konnten wir eine Methode entwickeln, die es erlaubt, einen ZVK mit seiner Spitze genau am Übergang von der Vena cava superior zum rechter Vorhof zu positionieren, wo eine zuverlässige Katheterfunktion garantiert ist.

**2.**

---

## **EINLEITUNG**

## 2.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER ZENTRALVENÖSEN

### KATHETERISIERUNG

Die erste Katheterisierung einer zentralen Vene wurde von dem englischen Geistlichen Stephen Hales durchgeführt. Im Jahr 1733 führte er eine Messingröhre zunächst in eine Arterie, später auch in eine Jugularvene eines Pferdes ein. Im Ruhezustand stieg das venöse Blut des Pferdes zwölf Zoll in der aufgesteckten Glasröhre (Abb. 2-1).



**ABB 2-1 Zeitgenössische Darstellung:** Stephen Hales und sein Assistent bei der invasiven Blutdruckmessung eines Pferdes.

Mehr als 100 Jahre später, 1844, wurde durch Claude Bernard die erste Herzkatheterisierung vorgenommen. Auch er führte seine Untersuchungen an einem Pferd durch und kanülierte die Arteria carotis und den linken Ventrikel, außerdem die Vena jugularis interna und den rechten Ventrikel. Von Bernard

stammt auch der erste Bericht über eine Komplikation bei der zentralvenösen Katheterisierung: Bei der Autopsie bemerkte er eine intraperikardiale Blutung infolge Perforation des rechten Ventrikels.

Nach Experimenten mit Hunden führte Fritz Bleichröder im Jahre 1905 arterielle Katheterisierungen bei Menschen durch. Da er nicht glaubte, dass die Experimente von praktischem Wert seien, publizierte Bleichröder die Ergebnisse erst 1912.

In der Biographie von Werner Forßmann erfährt man von weiteren unveröffentlichten Versuchen: Ureterenkatheter waren in Armvenen von vier Freiwilligen, darunter auch Bleichröder, eingeführt und bis zur Axilla bzw. von der Leiste bis in die Vena cava inferior vorgeschoben worden. Beim Probanden Bleichröder wurde aus der eingeführten Länge sowie wegen eines nicht näher beschriebenen stechenden Schmerzes auf die intrakardiale Lage des Katheters geschlossen. Dieser Versuch wurde jedoch ebenfalls nicht veröffentlicht, da die Autoren um ihren Ruf fürchteten (Forßmann, 1972).

Ohne Kenntnis dieser Experimente von Bleichröder und Unger verfolgte der 25-jährige Assistenzarzt Werner Forßmann in Eberswalde die Idee, Katheter in das rechte Herz einzuführen, um Notfallmedikamente zu applizieren und um die Gefahren der direkten perkutanen intrakardialen Injektion zu vermeiden. Erste Versuche führte er mit Leichen durch und war überrascht, wie einfach die Katheter eingeführt werden konnten. Im Sommer 1929 beschloss er, sich selbst einen Ureterenkatheter über die Ellenbeugenvene ins rechte Herz vorzuschieben. Da ihm sein Chefarzt dieses Experiment verboten hatte, führte Forßmann den Katheter heimlich in der Mittagspause mit Hilfe einer Krankenschwester 30 cm weit in die Armvene ein, stieg mit liegendem Katheter

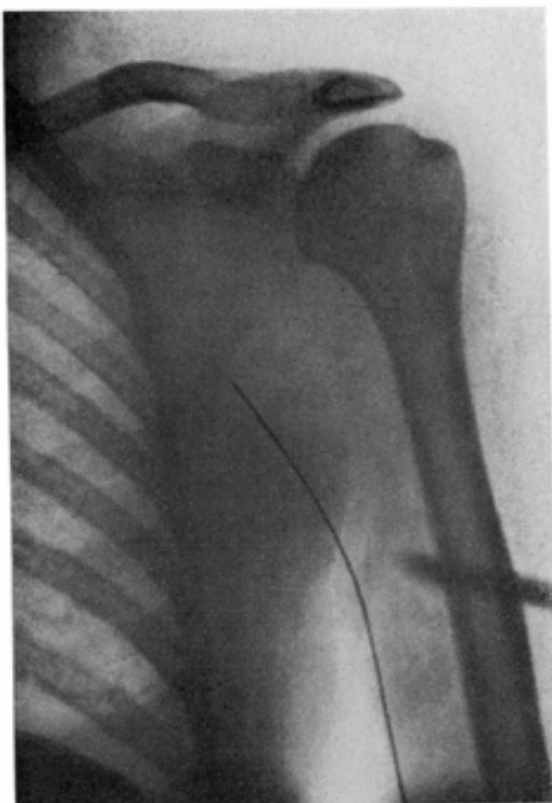


Abb. 1  
Der Katheter ist in der  
rechten Vena cephalica bis  
zur Höhe der Achselhöhle  
eingeführt

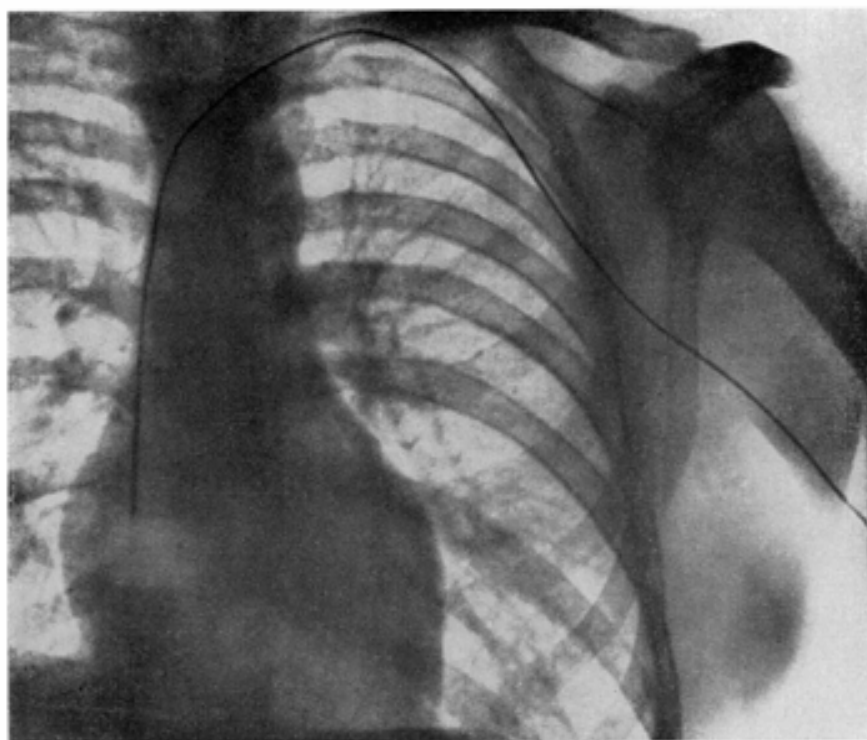


Abb. 2 Der Katheter reicht von der linken Vena cephalica herabkommend bis in die rechte Vorkammer

**ABB 2-2 Radiologische Aufnahmen des ersten Rechtsherzkatheters von Werner Forßmann.** Mit freundlicher Überlassung durch seinen Sohn, Herrn Prof. Dr. Dr. W.-G. Forßmann.

Die erste Patientin, die von Forßmann unter Zuhilfenahme eines zentralen Venenkatheters behandelt wurde, litt unter einer eitrigen Peritonitis. Ihr wurde über den Katheter ein Liter Glucoselösung mit Adrenalin und Strophantin appliziert. Nach einer vorübergehenden Besserung des Zustandes verstarb sie dennoch. Bei der Autopsie wurden keine Verletzungen im Bereich der Venen festgestellt. Im Jahr 1931 injizierte Forßmann über Arm- und Beinvenen Kontrastmittel in sein rechtes Herz. Ein Jahr später erkannte Arthur Grollman die Möglichkeit, über den in den rechten Vorhof eingeführten Katheter Blut zu sammeln und darüber das Herzzeitvolumen zu bestimmen (Grollman, 1932).

André Frédéric Cournand und Dickinson W. Richards ist es zu verdanken, dass Forßmanns fast vergessene Methode der Herzkatheterisierung gegen viele medizinische Sicherheitsbedenken und Vorbehalte in den klinischen Alltag eingeführt wurde. Sie untersuchten die Hämodynamik des Herzens und führten schließlich im Jahr 1941 die Technik der Rechtsherzkatheterisierung ein (Cournand und Ranges, 1941). Forßmanns Selbstversuch hat also der Erforschung der Physiologie und Pathologie von Herz und Lunge völlig neue Wege eröffnet. Wie Forßmann benutzten auch Cournand und Richards die Röntgendurchleuchtung, um den Katheter in die gewünschte Lage zu bringen. Dabei zeigte sich bei zwei Patienten, dass der Katheter von der Vena basilica in die jeweils entgegengesetzte Vena brachiocephalica gelangt war. Er wurde bis in die Vena axillaris zurückgezogen und konnte bei erneutem Vorschub in die richtige Position gebracht werden.

Nathan Zuntz, ein jüdischer Physiologieprofessor an der Berliner Landwirtschaftlichen Hochschule, hatte um 1900 zur Berechnung des Herzminutenvolumens beim Pferd direkte Blutdruckmessungen in Pulmonalarterie und Aorta

kombiniert und so wertvolle Erkenntnisse über den Gasaustausch und die Herzaktion gewonnen (Gunga, 1989). Nach 1945 schrieb Cournand aber Forßmann diese Ideen zu (Cournand, 1986). Gemeinsam wurden Cournand, Richards und Forßmann 1956 mit dem Medizinnobelpreis geehrt. Durch seine Selbstversuche leitete Forßmann eine Entwicklung ein, die heutzutage im Rahmen der Diagnostik, Überwachung und Behandlung kritisch kranker Patienten zur selbstverständlichen Routine auf Intensivstationen geworden ist.-

Eine Alternative zur Anlage zentraler Venenkatheter über Armvenen wurde 1952 eingeführt, als Aubaniac den infraclaviculären Zugang über die V. subclavia beschrieb (Aubaniac, 1952). Durch die rasante Zunahme zentralvenöser Katheterisierungen mehrten sich aber bald auch die Berichte über Komplikationen. Die häufigste beschriebene Komplikation war der Pneumothorax, der bei 0,5 bis 5% aller Punktionen auftrat. 1966 wurde die Katheterisierung der Vena jugularis interna eingeführt (Hermosura et al., 1966). English und Mitarbeiter beschrieben 1969 die Technik im Detail und berichteten über die Ergebnisse von 500 Katheterisierungen dieses Gefäßes (English et al., 1969). Innerhalb weniger Jahre erreichte diese Technik eine weite Verbreitung, wohl bedingt durch die niedrige Inzidenz an Pneumothoraces und Fehllagen (Kalso, 1985). Heutzutage werden in den USA jährlich circa sechs Millionen ZVKs gelegt, in Deutschland liegt das Potenzial bei 1,9 Millionen (persönliche Mitteilung B.Braun Melsungen AG, 2005). Laut McGee und Gold liegt die Komplikationsrate zentraler Venenkatheter bei 15% - die niedrigste von ihnen zitierte mechanische Komplikationsrate lag bei 5%. Demnach wären also in Deutschland jährlich etwa 75.000 Patienten von einer durch einen ZVK bedingten mechanischen Komplikation betroffen (McGee und Gould, 2003).



## 2.2 KATHETERKOMPLIKATIONEN: DEFINITION, ÜBERSICHT UND

### FEHLLAGEN

Bei der Anwendung zentraler Venenkatheter können sowohl mechanische als auch infektiöse Komplikationen auftreten. Anhand des zeitlichen Zusammenhangs zwischen Auftreten der Komplikation und ZVK-Anlage kann man Früh- und Spätkomplikationen unterscheiden (Tab. 2-1 und 2-2).

Komplikationsort	Art der Komplikation
<b>Arterien</b>  (Carotis, Subclavia, Truncus thyrocervicalis, Vertebralis, Aorta, Mammaria, Intercostales, Pulmonalis, etc.)	Lazeration, Dissektion, arteriovenöse Fistel, (Pseudo)aneurysma Embolie (Luft, Thrombus), Hämatom (kann durch Druck auf umgebendes Gewebe zu Durchblutungsstörungen und Atemwegsobstruktion führen) Zerebrovaskuläre Ereignisse
<b>Venen</b> Erhöhte Wahrscheinlichkeit dieser Komplikationen bei Positionierung des Katheters in einer kleinen Vene: (Azygosbogen, Brachiocephalica, Mammaria, Pericardiacophrenica, etc.)	Lazeration, Fistel (arteriovenös, venobronchial) Luftembolie, Katheterembolie (Fragment oder Drahtverlust), Phlebitis, Thrombose, Komplikationen bedingt durch Malposition (Rückfluss, Extravasation, auditive Missempfindungen, Perikardtamponade, zerebrovaskuläre Ereignisse)
<b>Lymphgefäße</b>	Lazeration des Ductus thoracicus, Chylothorax, Lymphfistel
<b>Pleurahöhle und Mediastinum</b>	(Spannungs-) Pneumothorax Pneumomediastinum Extravasation, Hämatothorax, Hydromediastinum
<b>Herz</b>	Herzrhythmusstörungen, Perikarderguss, -tamponade
<b>Trachea</b>	Fistel, Punktion eines Endotrachealtubus oder Cuffs
<b>Ösophagus</b>	Mediastinitis
<b>Schilddrüse</b>	Blutung, Punktion von Zysten
<b>Nerven</b>  (Phrenicus, Recurrens, Hypoglossus, Plexus brachialis, Truncus sympathicus, Vagus)	rezidivierender Singultus Stimmbandlähmung, Horner Syndrom, Brown-Sequard-Syndrom Zerebrovaskuläre Ereignisse, Sehstörung bis Blindheit Armparese, Missempfindungen im und am Ohr
<b>Knochen</b>	Osteomyelitis (Clavicula, Rippen)
<b>Haut und Weichteile</b>	Hämatom, Entzündung, Infektion, Abszess Extravasation, Nekrose
<b>Diverses</b>	Führungsdrahtverlust Infektion, Sepsis

**TAB 2-1 Auflistung von ZVK-Komplikationen:** Frühkomplikationen bei der Anlage zentralvenöser Katheter nach Kanülierung der Vv. jugulares und subclaviae. Modifiziert nach Polderman und Girbes, 2002.  
**ZVK:** zentraler Venenkatheter.

Katheter- sowie patientenspezifische Faktoren, Punktionsort, Verwendungszweck und Pflege des Katheters beeinflussen das Komplikationsrisiko.

Als Zugangswege zu zentralen Venen können Armvenen, Femoralvenen sowie die thoraxnahen Venae subclaviae und jugulares dienen. Aufgrund des anatomisch geraden Verlaufs der rechten V. jugularis interna zum rechten Vorhof treten Fehllagen beim Zugang über diese Vene seltener auf. Daher wird die rechte V. jugularis interna als Zugangsweg in der Regel bevorzugt.

### Komplikationen

Thrombose der V. subclavia, Vv. jugulares, V. axillaris, V. cava sup., des rechten Vorhofes, Sinusvenenthrombose, etc.  
 Thrombusbildung an der Katheterspitze  
 Kolonisation und Infektion des Katheters und/oder eines daran anhaftenden Thrombus  
 Embolie (Luft, Thrombus, Katheter, Draht)  
 Zerebrovaskuläre Ereignisse  
 Entzündungsreaktion auf Fremdmaterial  
 Stenose der V. subclavia, Vv. jugulares, V. axillaris, V. cava sup.  
 (Septische/organisierte) Hämatome  
 Arteriovenöse, arteriobronchiale, venobronchiale oder venokutane Fisteln  
 Hydrozephalus (bei akzidenteller Spinalkanalpunktion)  
 Kardiale Vegetationen  
 Herzwandaneurysma  
 Perikardtamponade  
 Herzrhythmusstörungen

**TAB 2-2 Auflistung von ZVK-Komplikationen:** Spätkomplikationen bei der Anlage zentralvenöser Katheter nach Kanülierung der Vv. jugulares und subclaviae. Modifiziert nach Polderman und Girbes, 2002.  
**ZVK:** zentraler Venenkatheter.

Karen Domino analysierte abgeschlossene Verfahren medizinischer Haftpflichtfälle, die zwischen 1978 und 1999 bei der *American Society of Anesthesiologists closed claims database*, einer US-amerikanischen Datenbank, registriert worden waren (Domino et al., 2004). 110 der 6449 ausgewerteten anästhesiologischen Schadensfälle waren durch ZVKs verursacht worden. Mehr als 1/3 waren mit Katheterfehllagen assoziiert, die

Mortalitätsrate lag insgesamt über 47%, die Mortalitätsrate der Herzbeutel-tamponade betrug sogar 81%.

Malpositionen können mit einer Vielzahl an Komplikationen assoziiert sein. Diese sind häufig nur mit einer geringen Morbidität behaftet, können aber im Extremfall zum Tode führen. Fehllagen in kleinen Venen bedingen z. B. falsche Druckmesswerte, führen zu unzureichenden und/oder schwankenden Infusionsraten, Thrombosen, Entzündungen oder Perforationen. Infusionen durch fehlplatzierte Katheter – hier verdient die V. jugularis interna ein besonderes Augenmerk – können toxische und auch neurologische Folgen haben. Unzureichend tief eingeführte ZVKs können zu Extravasationen mit z.T. weitreichenden Konsequenzen führen. Ein zu tief eingeführter ZVK, dessen Spitze im Vorhof bzw. Ventrikel endet, kann dort hämodynamisch wirksame Herzrhythmusstörungen verursachen oder mitunter sogar zu Perforationen mit nachfolgender Perikardtamponade führen. Von einer tödlichen Herzperforation durch einen ZVK wurde 1956 erstmalig berichtet. Die meisten Perforationen wurden im unteren Vorhofbereich beschrieben.

Die *Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften* hat 2001 die Leitlinie: „Zentraler Venenkatheter“ der *Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI)* veröffentlicht (AWMF, 2001). In diesem klinischen Algorithmus wird eine Überprüfung der Katheterspitzenposition gefordert, die korrekte Katheterposition aber offen gelassen. Bei der Auswahl der gewünschten Katheterlage spielen auch klinische Indikationen eine Rolle.

An eine optimale Lage sind folgende Forderungen zu stellen:

- Zentralvenöse Katheter sollten den zentralvenösen Druck verlässlich messen können.
- Ebenso müssen eine leichtgängige Infusion und Aspiration gegeben sein. Dies ist gewährleistet, wenn die Katheterspitze in einem möglichst großen Gefäß mit hohem Blutfluss platziert ist. Dabei ist es unerheblich, ob diese Vene sich ober- oder unterhalb des Herzens befindet.

In dem Editorial „*Safe placement of central venous catheters: where should the tip of the catheter lie?*“ stellten Fletcher und Bodenham eine Kontroverse bezüglich der optimalen Position der zentralvenösen Katheterspitze dar (Fletcher und Bodenham, 2000). Aufgrund ihrer klinischen Erfahrung empfahlen sie drei – je nach Zugangsweg geeignete – Zonen:

- **Zone A (untere V. cava superior/Vorhofeingang):**

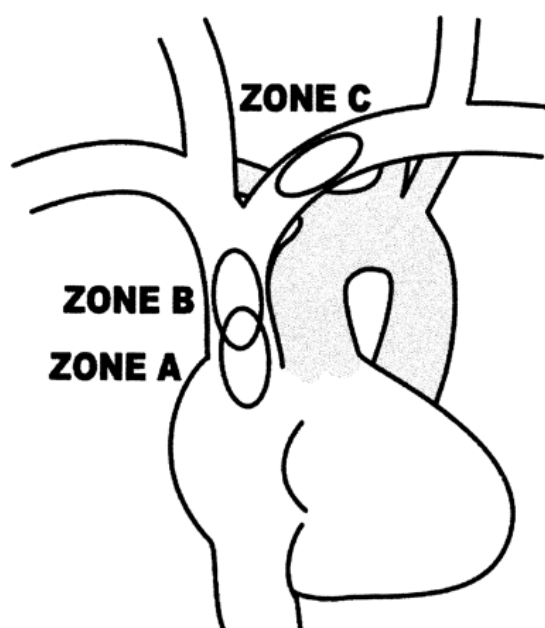
Dieses ist eine günstige Position für Katheterspitzen gleichgültig von welchem Zugangsweg des Oberkörpers. Nach Meinung der Autoren können Katheterspitzen auch sicher im rechten Vorhof positioniert werden unter der Voraussetzung, dass sie nicht senkrecht auf die Vorhofwand auftreffen oder in den Sinus coronarius oder durch die Trikuspidalklappe stoßen (Karnauchow, 1986; Stanislav et al., 1987; McGee et al., 1993; Passaro et al., 1994; Taber und Bergamini, 1997).

- **Zone B (obere V. cava superior):**

Dies ist eine geeignete Position für Katheter über die rechte V. jugularis interna (Tocino und Watanabe, 1986; Duntley et al., 1992).

- **Zone C (Mitte der linken V. brachiocephalica):**

Sie ist eine geeignete Position für Katheter über die linke V. jugularis interna oder V. subclavia und reduziert das Risiko einer Perforation der V. cava superior (Dailey, 1988).



**ABB 2-3 Drei geeignete Zonen für die Katheterpositionierung:** Schematische Darstellung des Herzens und der großen Venen. In vivo sind die Winkel der Venen eventuell spitzer (Fletcher und Bodenham, 2000).

Katheterfehlagen treten je nach Definition mit einer Häufigkeit von 3–38% auf (Langston, 1971; Dunbar et al., 1981; Wechsler et al., 1984; Bjarnason und Lehman, 1997).

Obwohl jede Position ein Komplikationspotential besitzt, sind extravasale Fehllagen besonders gefürchtet. Hersteller zentraler Venenkatheter warnen in ihren Packungsbeilagen insbesondere vor der Perforationsgefahr und einer möglichen Perikardtamponade. Die US-amerikanische *Food and Drug Administration* weist nachdrücklich darauf hin, dass die Katheterspitze außerhalb der Herzsilhouette liegen sollte. Dieser Rat basiert auf der Erfahrung

häufig tödlich ausgehender Fälle einer Perikardtamponade im Zusammenhang mit der intrakardialen Platzierung einer ZVK-Spitze.

Perforationen sind aber nicht auf das Herz beschränkt. Perforationen zentraler Venen können zu Pleuraergüssen, Hydrothorax, Hämatothorax, Hydro-mediastinum, Pneumothorax und Pneumomediastinum führen. Obwohl die Auswirkungen meist weniger dramatisch sind als die einer Herzperforation, sind Morbidität und Mortalität deutlich erhöht. Die Perforation der medialen Wand der Vena cava superior kann ebenfalls zu einer Herzbeutel-tamponade führen. Dies wird durch die Forschungsergebnisse von Schuster und Mitarbeitern gestützt, die aufzeigten, dass das Perikard bis zu fünf Zentimeter (in Mittel 3,0 cm) entlang der medialen Wand der Vena cava superior aufsteigt. Eine ZVK-Platzierung proximal des Vorhofes eliminiert daher das Risiko der Herzbeutel-tamponade nicht. Eine Perforation ist das Resultat eines mechanischen Traumas durch die Katheterspitze oder eines chemischen Schadens durch infundierte Lösungen.

Gleichwohl herrscht Einigkeit darüber, dass bestimmte Fehllagen unbedingt vermieden werden müssen. Dazu zählt die Positionierung in arteriellen Gefäßen, in allen kleinen thorakalen, mediastinalen und Halsvenen und auch retrograd in den Vv. jugulares internae.

Eine weitere Maßgabe zur Vermeidung von Komplikationen besteht darin, den ZVK parallel zur Venenwand zu platzieren, denn die Wahrscheinlichkeit einer Perforation steigt signifikant an, wenn der Winkel zwischen pulsierender Membran und Katheter mehr als 40° beträgt (Gravenstein und Blackshear, 1991).

Es bleibt festzuhalten, dass wahrscheinlich jede Katheterposition gewisse Komplikationsmöglichkeiten birgt. Zur Vermeidung von Fehllagen und daraus resultierenden Komplikationen ist ein bettseitig verfügbares, zuverlässiges Lagekontrollverfahren wünschenswert.

### **2.3 EKG-UNABHÄNGIGE METHODEN DER ZVK-LAGEKONTROLLE**

Zu den klinischen Kriterien, die auf eine korrekte Lage hinweisen, gehören:

- freie Aspirierbarkeit von Blut durch alle Katheterschenkel,
- atemabhängige Verschieblichkeit einer Flüssigkeitssäule,
- venöse Druckkurve,
- venöse Blutprobe nach vergleichender Blutgasanalyse.

Für die Abschätzung der Einführtiefe wurden mehrere, auf der Körpergröße basierende Formeln entwickelt (Peres, 1990). Eine weitere Möglichkeit stellt die Abschätzung der Einführtiefe eines Katheters aus der Strecke zwischen Punktionsstelle und dem zweiten rechten anterioren Intercostalraum dar (Tempe et al., 2003).

Das traditionelle Verfahren zur Lagekontrolle besteht in der Anfertigung eines Röntgenbildes, eventuell auch in einer Durchleuchtung. Ferner lassen sich der Katheter und die Katheterspitze in aller Regel durch Schnittbild-Verfahren wie die Computertomographie bzw. die Magnetresonanztomographie (MRT) gut darstellen. Sogar ein elektromagnetisches Verfahren zum Aufsuchen der ZVK-Spitze wurde entwickelt (Lunkenheimer und Schrader, 1969; Starkhammar et

al., 1996). Eine Methode, mittels transthorakalem Ultraschall die ZVK-Spitze zu identifizieren befindet sich derzeit in der Erprobungsphase (Radke et al., 1990). Die transösophageale Echokardiographie (TEE) stellt gegenwärtig wohl das exakteste Lagekontrollverfahren dar, wenn der Katheter mit seiner Spitze bis in die distale SVC eingeführt wurde (Andropoulos et al., 1999; Schummer et al., 2005; Reynolds et al., 2001; Chu et al., 2004)

Darüber hinaus existiert auch noch die EKG-Methode zur Positionierung zentraler Venenkatheter, auf die im nächsten Kapitel näher eingegangen wird.

Klinisch praktikable Methoden zur Lagekontrolle sind Funktionsproben, anatomische Landmarken, an der Körpergröße des Patienten orientierte Formeln, die EKG-Methode und mit gewissen Einschränkungen auch Röntgenaufnahmen. Allerdings genügen lediglich die letzten beiden Verfahren der juristisch vorgeschriebenen Sorgfaltspflicht des Arztes.

Festzuhalten gilt aber schon hier, dass – vielleicht abgesehen von der TEE – kein Verfahren für sich allein absolute Sicherheit bietet.

## **2.4 EKG-METHODE ZUR ZVK-LAGEKONTROLLE**

### **2.4.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG**

Im Jahr 1945 berichteten Jean Lenègre und Pierre Maurice als erste über Elektrokardiogramme, die aus dem rechten Herzen über einen zentralen Venenkatheter abgeleitet wurden (Lenègre und Maurice, 1945). Die radiologische Dokumentation von zentralen Venenkathetern, bei denen bestimmte Positionen der Katheterspitze bestimmten elektrokardiographischen Mustern zugeordnet wurden, publizierten 1946 Hecht und Battro zeitgleich (Hecht, 1946;



Battro und Bidoggia, 1947). Bei Lokalisation der Katheterspitze im rechten Vorhof fanden die Autoren typische P-Wellen mit „Ohramplitude“. Als positive Elektrode fungierte dabei die Spitze eines Metalldrahtes, der die Spitze des zentralen Venenkatheters überragte. Auf diese Weise konnten direkt Potenziale des Herzmuskels erfasst werden. Die bestehenden Erfahrungen setzten Kisch und Mitarbeiter 1948 zum ersten Mal in die klinische Praxis um (Kisch et al., 1948). Dabei wurde die diagnostische Rechtsherzkatheterisierung mit der Ableitung eines intrakardialen EKG kombiniert. Zuerst dienten das Blut des Patienten oder eine Kochsalzlösung als elektrisch leitendes Medium im Katheter. Später setzten diese Autoren dünne Drähte zur Ableitung des EKG ein, um störungsärmere Darstellungen zu erhalten. Auch Herman K. Hellerstein und Mitarbeiter leiteten 1949 ein EKG über eine elektrolythaltige Flüssigkeitssäule in einem Einlumen-Katheter ab, um intrakardiale Potenziale zu erhalten (Hellerstein et al., 1949). Die Möglichkeit der Lagekontrolle der Katheterspitze mittels EKG wurde von diesen Autoren erstmals erwähnt. Nach ihrer Erfahrung war die Bestimmung der exakten Position der Katheterspitze insbesondere im unteren Bereich des rechten Vorhofes und im Koronarsinus durch elektrokardiographische Ableitung zuverlässiger als mittels Durchleuchtung oder durch das Ableiten einer Venendruckkurve. Luisada und Liu verwendeten 1957 eine 5%ige Kochsalzlösung als leitendes Medium, um durch die höhere Elektrolytkonzentration bessere Ableitungsbedingungen zu erhalten (Luisada und Liu, 1957). In der Kardiologie wurde die intrakardiale EKG-Ableitung nun bei der Herzkatheterisierung angeborener sowie erworbener Herzfehler verwendet (Emslie-Smith, 1955; Sterz, 1960). Das Team des Neurochirurgen James T. Robertson setzte das intrakardiale EKG erstmalig 1961 für chirurgische Zwecke

ein (Robertson et al., 1961). Die Spitze eines ventrikulo-atrialen Shunts sollte im rechten Vorhof platziert werden. Dafür wurde das intrakardiale EKG zur Lagekontrolle benutzt. 1962 und 1964 wies H. Watson darauf hin, dass intrakardiale Ableitungen während Herzkatheteruntersuchungen bei Kindern helfen konnten, die Lage des Katheters schnell zu bestimmen und außerdem angeborene Herzfehler zu erkennen (Watson, 1962; Watson, 1964). Die intrakardiale Ableitung nutzten John H. Vogel und seine Mitarbeiter 1964 zur Diagnose von Rhythmusstörungen, wobei dieses Verfahren im Vergleich zum Ösophagus-EKG besser und auch weniger belastend für den Patienten sei (Vogel et al., 1964). Die intrakardiale EKG-Ableitung wurde auch für die Platzierung passagerer Schrittmachersonden genutzt. So beschrieben Dietrich Harmjanz und Mitarbeiter 1969, wie mit geringem technischen Aufwand ein Elektroden-einschwemmkatheter in den rechten Ventrikel eingebracht werden konnte (Harmjanz et al., 1969). Im gleichen Jahr modifizierten John D. Michenfelder und Mitarbeiter dieses Verfahren für die Neuroanästhesie. Die Autoren hatten bemerkt, dass bei venösen Luftembolien, die bei Operationen am sitzenden Patienten oft vorkommen, die eingedrungene Luft über einen im rechten Vorhof liegenden Katheter aspiriert werden konnte (Michenfelder et al., 1969). Dazu sollte der zentrale Venenkatheter exakt platziert sein. Die unmittelbare präoperative Lagekontrolle mittels intrakardialem EKG schien den Autoren am sinnvollsten.

#### **2.4.2 BEWERTUNG DER EKG-METHODE AUS JURISTISCHER SICHT**

Seit den 1980er Jahren des vergangenen Jahrhunderts ist die elektrokardiographische Lagekontrolle zentraler Venenkatheter keine

Außenseitermethode mehr. Die Anwendung wurde für rechtmäßig erklärt (Weissauer, 1988). Sie genügt der Sorgfaltspflicht genauso wie die radiologische Lagekontrolle, allerdings sollte das Ergebnis der Lagekontrolle aus forensischen Gründen immer mittels EKG-Streifen oder zumindest handschriftlichem Vermerk in der Patientenakte erfolgen (Weissauer, 1998).

### **2.4.3 ELEKTROPHYSIOLOGIE**

Biologische Vorgänge sind häufig mit Ladungstrennungen verbunden, dadurch entstehen elektrische Felder und mit den Strömen auch magnetische Felder. Die Ausbreitung und Rückbildung der in der Regel vom Sinusknoten ausgehenden Erregungsfront des Herzens erzeugen ein elektrisches Feld, das sich aufgrund der guten Leitfähigkeit des Organismus bis zur Körperoberfläche hin ausdehnt. Die zeitlichen Veränderungen von Größe und Richtung dieses Feldes im Verlauf der Erregungsausbreitung und -rückbildung bewirken Veränderungen an den Potenzialdifferenzen, die an verschiedenen Stellen, wie beispielsweise der Körperoberfläche (mit Elektroden; in normierter Art und Weise auf dem Körper angebracht), abgegriffen und gemessen werden können. Die exakte Form des jeweiligen Aktionspotenzials hängt vom genauen Zelltyp ab. So weisen beispielsweise Ventrikelmuskardzellen eine Aktionspotenzialdauer von etwa 300 ms auf, atriale Zellen dagegen zeichnen sich durch deutlich kürzere Potenziale aus. Die Registrierung solcher Potenzialdifferenzen in Abhängigkeit von der Zeit stellt das Elektrokardiogramm dar. Es ist somit Ausdruck der elektrischen Aktivität des Herzens.

### 2.4.2.1 Konventionelles EKG

Das im Allgemeinen herzforn abgegriffene EKG entsteht aus der Überlagerung vieler elementarer Feldkomponenten. Für ein tieferes Verständnis der entstehenden Felder benutzt man Modellsysteme: das Herz stellt man als einen variierenden elektrischen Stromdipol dar, der allgemein als Herzvektor bezeichnet wird. Per definitionem zeigt der Dipol oder Vektor vom Minuspol (erregt) zum Pluspol (nicht erregt). Jede erregte Herzfaser bildet einen Dipol mit bestimmter Größe und Richtung. Im gesamten Herzen handelt es sich dabei um Millionen von elementaren Dipolen, die sich wie Vektoren addieren (und in bedeutendem Maße einander aufheben). Der zeitliche Verlauf dieses Dipolmomentes, auch Vektorkardiogramm genannt, weist drei unterschiedlich ausgeprägte Kurvenstücke, die P-, QRS- und T-Schleife auf.

Nur Zellen, die sich gerade depolarisieren oder repolarisieren tragen zu dem Feld bei. Zellen, die unerregt bzw. vollständig erregt sind, sind hingegen elektrisch „unsichtbar“. Die Stärke des Feldes reflektiert also u.a. die Muskelmasse.

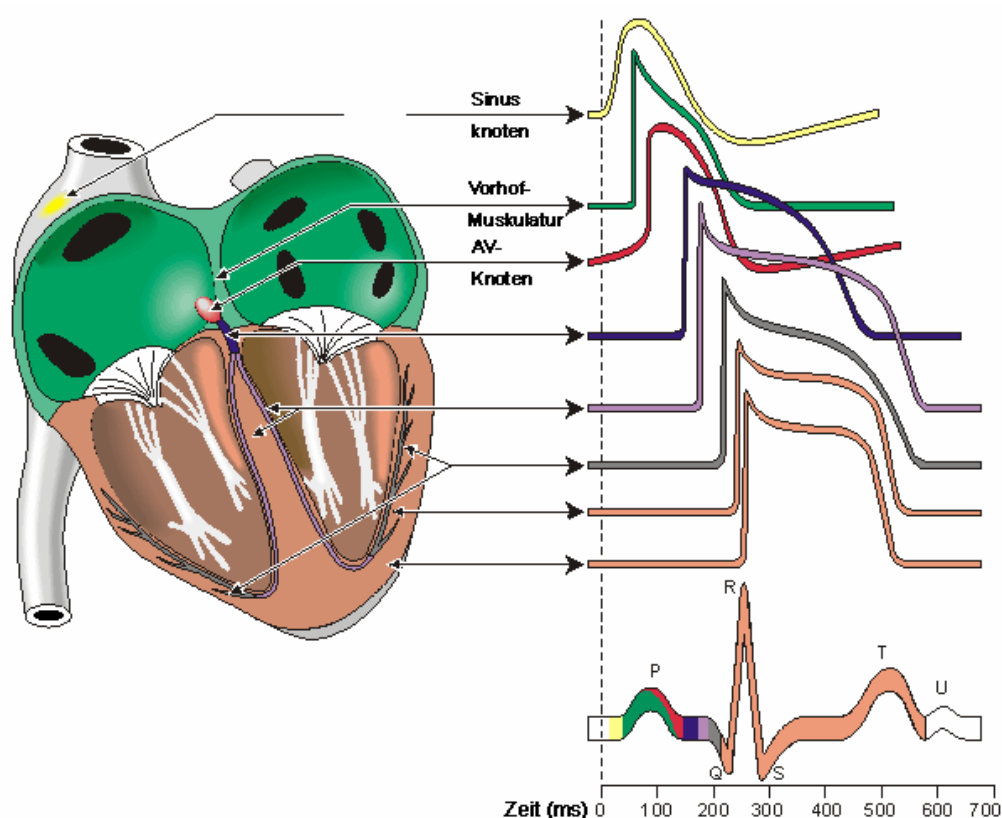
Liegt nun der Dipol in einem leitenden Medium, kann das Feld auch entfernt vom Dipol über Elektroden abgegriffen werden. Die Amplitude der gemessenen Potenzialdifferenz hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab, z.B. von der Orientierung der Messelektroden zum elektrischen Feld und deren Entfernung vom Dipol.

Anhand der unterschiedlich erregten Herzmuskelzellen lässt sich rechnerisch eine Abschätzung des Summenpotenzials durchführen. Der Einfachheit halber

wird die Begrenzung des Thoraxraumes ins Unendliche gelegt und die Leitfähigkeit als homogen vorausgesetzt.

Die Amplitude der Potenzialdifferenz zwischen zwei Elektroden hängt ab von

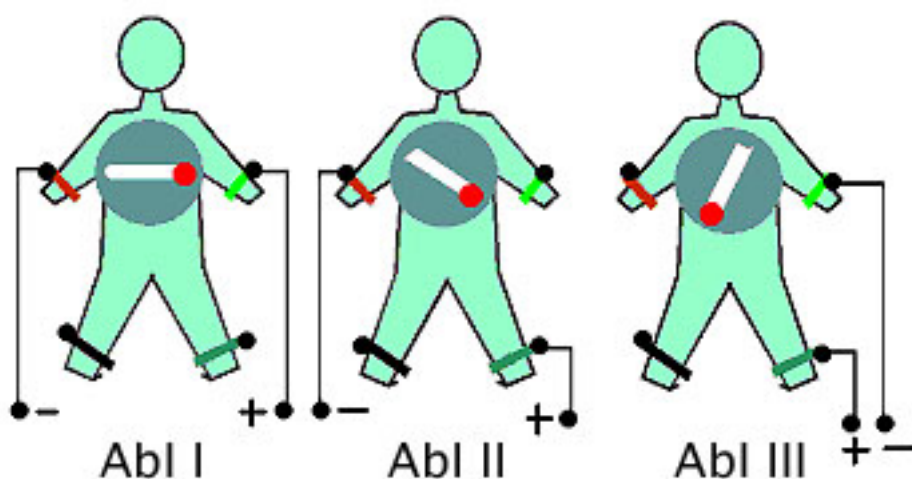
- der Anzahl der gerade erregten bzw. repolarisierenden Zellen (Zeit, Muskelmasse),
- dem Grad der Summierung/Aufhebung (bis zu 90%),
- dem Winkel zwischen dem Summenvektor und der durch die ableitenden Elektroden definierten Linie (Bezugslinie) und
- der Entfernung von der Feldmitte (Invers-Quadrat Gesetz).



**ABB 2-4 Schematische Darstellung einzelner Komponenten einer EKG-Kurve:** Die Summation der Einzelkomponenten ergibt das bekannte EKG-Muster.  
**AV-Knoten:** Atrioventrikularknoten, **EKG** Elektrokardiogramm

Eine typische EKG-Ableitung besteht aus positiven und negativen Ausschlägen, die nach Einthoven als P, Q, R, S, T und U bezeichnet werden. Die einzelnen Zacken des EKG lassen sich ausgehend vom Dipolmodell mit der elektrischen Aktivität des Herzens in direkten Zusammenhang bringen.

Bei den Ableitungen nach Einthoven handelt es sich um bipolare Ableitungen zwischen zwei Extremitäten. Die Verschaltung wird in Abb. 2-5 dargestellt.

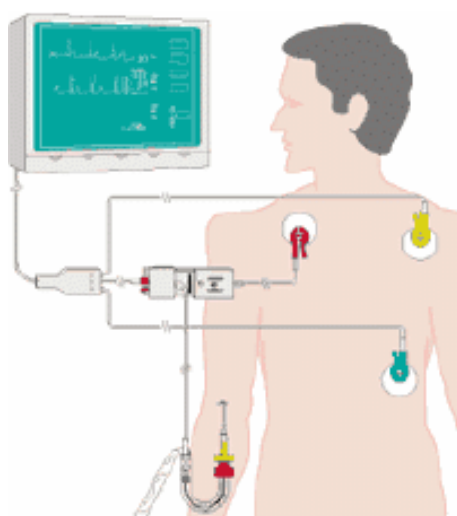


**Abb 2-5 Schematische Darstellung:** Bipolare Extremitätenableitungen (**Abl**) nach Einthoven (I, II, III)

#### 2.4.2.2 Intraatriales EKG

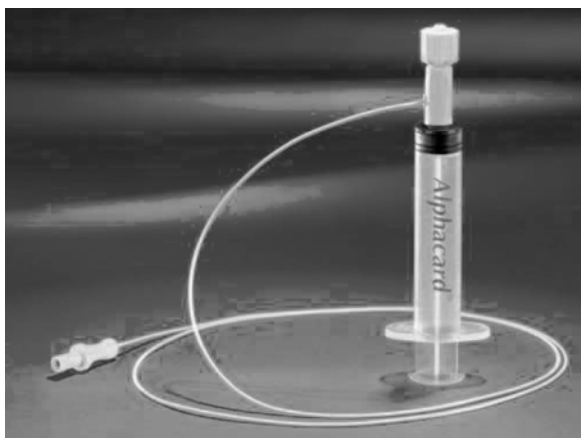
Die Ableitung eines EKG über einen ZVK wird auch als rechts-atriale Elektrokardiographie bezeichnet, die bereits 1949 Herman K. Hellerstein und seine Mitarbeiter beschrieben haben (Hellerstein et al., 1949). Hierbei setzten sie die Katheterspitze als unipolare Elektrode ein. In den folgenden Jahren wurde diese Technik klinisch erfolgreich angewandt und weiter entwickelt

(Levine et al., 1949b; Levine et al., 1949a; Sterz, 1960; Halter und Urthaler, 1970; Kawel et al., 1974; Hufnagl, 1976; März et al., 1984; Schafer et al., 1988). Wir verwendeten in unseren Untersuchungen an der Friedrich-Schiller-Universität den Certodyn®-Universaladapter als elektrische Weiche zur Herstellung einer bipolaren Ableitung mit der Katheterspitze als negativer Elektrode. Die Potenziale aus dem Vorhofmyokard wurden über das intrakardiale Blut zur Katheterspitze geleitet. Als leitendes Medium innerhalb des Katheters fungierte entweder eine elektrisch leitende Flüssigkeit oder ein Führungsdraht. Die rechte Arm- bzw. Schulter-Elektrode wurde durch die Spitze des Venenkatheters ersetzt. Die positive Hautelektrode sollte dabei ungefähr im Bereich der Herzspitze liegen. Diese Verschaltung entspricht der Ableitung II nach Einthoven (Abb. 2-5).



**ABB 2-6 Schematische Darstellung:**  
Einthoven II Ableitung mittels  
Certodyn®-Universal-adapter  
(B.Braun Melsungen AG, Media  
Service).

Bei dem von uns benutzten Mehrlumenkatheter der Firma B.Braun Melsungen AG ist dem Katheterset Certofix® ein steriles EKG-Verbindungskabel beige packt. Dieses Kabel ermöglicht die Verbindung des Seldingerdrahtes mit dem Certodyn®-Universaladapter mittels einer Krokodilklemme (Abb. 2-6).



**ABB 2-7 Alphacard® Spritze:** Spritze der Fa. B.Braun Melsungen zur intravasalen EKG-Ableitung (B.Braun Melsungen AG, Media Service).

Alternativ kann die elektrische Verbindung der Flüssigkeitssäule im Katheter zur Weiche mit einer besonderen Spritze (Alphacard®) hergestellt werden (Abb. 2-7).

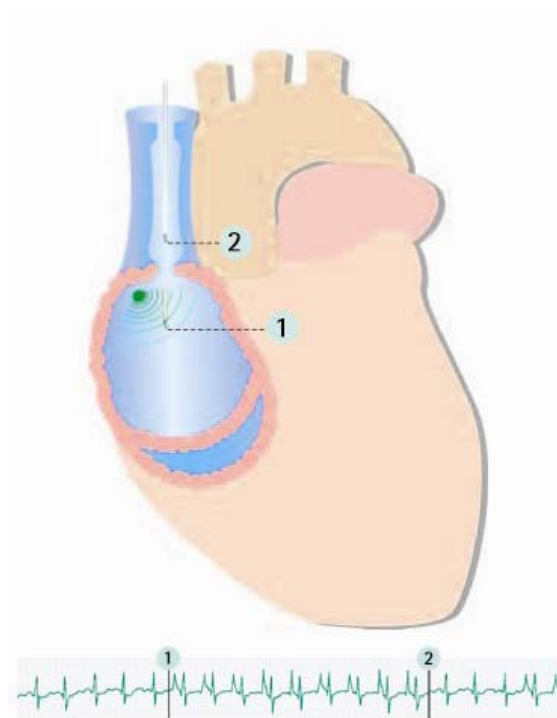
Die Lagekontrolle durch Nachweis einer überhöhten P-Welle, die als eindeutiger Hinweis auf die Positionierung im rechten Vorhof verstanden wird, hat man früher erst nach Platzierung des Katheters durchgeführt. Dieser wurde so weit vorgeschoben, bis entweder Arrhythmien auftraten oder aber nach Längenabschätzung eine intraatriale Lage des Katheters angenommen werden konnte (Michaelis et al., 1988; Marouche et al., 1998; Roewer und Engelhardt, 1998). Die hohe Arrhythmieinzidenz bei dieser Technik führte 1998 zu der Empfehlung, das EKG bereits beim Vorschub des Katheters abzuleiten (Roewer und Engelhardt, 1998).

### 2.4.3. THEORIE UND PRAXIS DER EKG-METHODE

Zur Lagekontrolle zentralvenöser Katheter empfiehlt der Hersteller des Certodyn®-Adapters folgende Vorgehensweise (<http://www.cvc-partner.de/de.html>, 15.05.2005): „Zwischen der Katheterspitze und einer Oberflächenelektrode wird ein EKG abgeleitet, das sich beim Verschieben des



ZVK in die Nähe des Herzens in charakteristischer Weise ändert, so dass bereits bei der Anlage des Katheters die Position mittels EKG kontrolliert werden kann. Von entscheidender Bedeutung ist die Erhöhung der P-Welle im EKG bei Eintritt der Katheterspitze in den rechten Vorhof bzw. deren Normalisierung durch das Zurückziehen des Katheters (Umschlagpunkt). Indem der Katheter um weitere zwei bis drei Zentimeter zurückgezogen wird, erreicht der Katheter seine korrekte Position (Abb. 2-7; B.Braun Melsungen AG, Media Service, 15.05.2005).

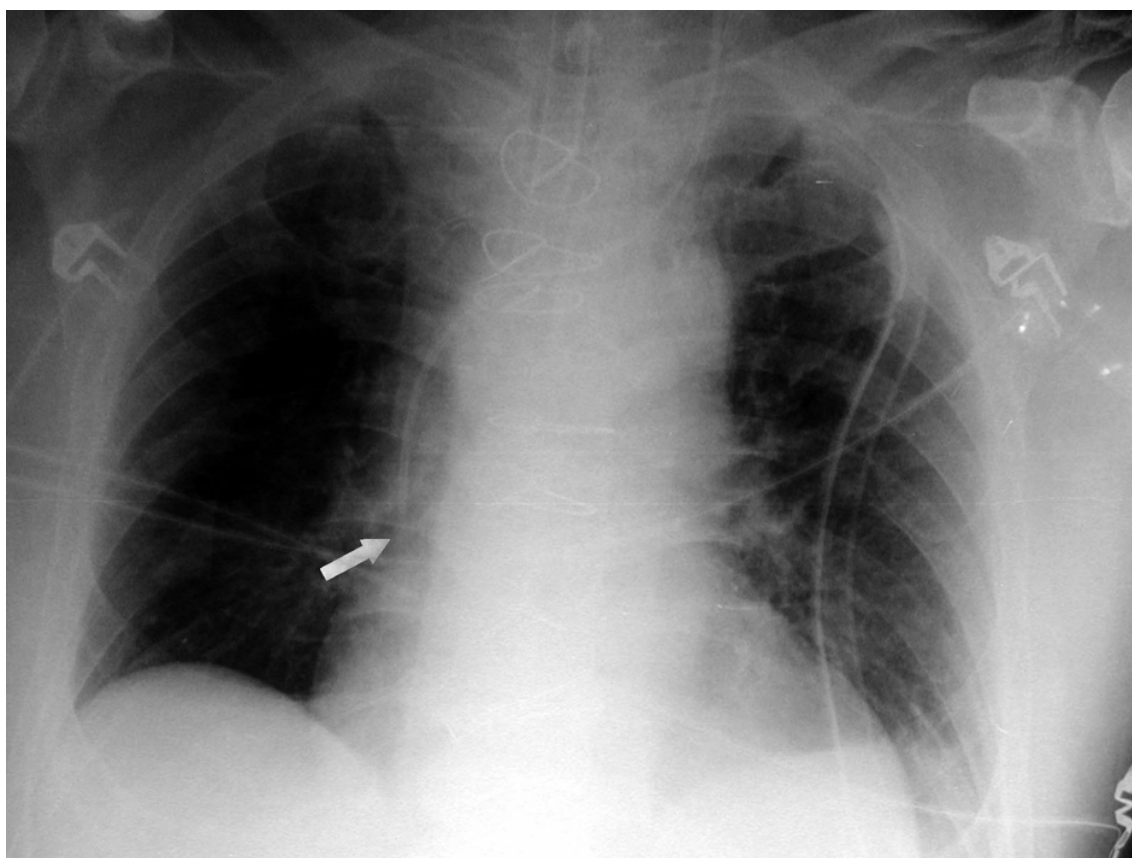


**ABB 2-7 Bisherige Vorstellung der EKG-Ableitung mittels bipolarer Elektrode: 1** charakteristische Erhöhung der P-Welle (P-atriale) bei Lokalisation der Katheterspitze im rechten Atrium, **2** Normalisierung der P-Welle bei Rückzug des Katheters in die Vena cava superior (B.Braun Melsungen AG, Media Service).

Diese Empfehlung beruht auf der Annahme, dass ein „P-atriale“ nur im rechten Vorhof abzuleiten ist. Die P-Welle sollte sich normalisieren, sobald der Katheter den Vorhof verlässt. Wird der Katheter um zwei bis drei Zentimeter weiter zurückgezogen, müsste er sich folglich etwa zwei bis drei Zentimeter vor der Eingangsebene befinden, also im unteren Drittel der V. cava superior.

## 2.5 FRAGESTELLUNG/UNTERSUCHUNGEN

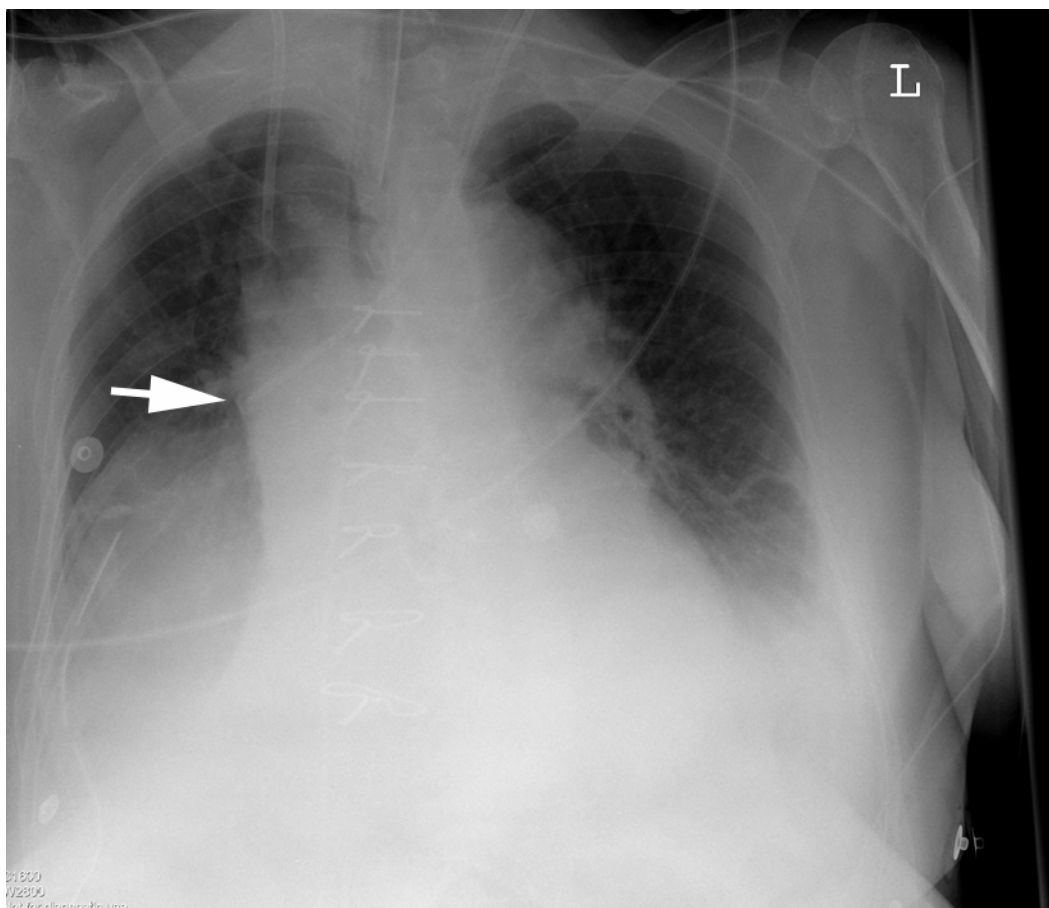
Wenn man davon ausgeht, dass ein „P-atriale“ nur im rechten Vorhof abzuleiten ist und sich die P-Welle normalisiert, sobald der Katheter den Vorhof verlässt, dann sollten mit der EKG-Methode platzierte ZVKs parallel zur Längsachse in der distalen Hälfte der V. cava superior enden. In dieser Position ist eine einwandfreie klinische Funktion zu erwarten.



**ABB 2-8 Bettaufnahme im AP-Strahlengang: A.** Korrekt platzierter ZVK. **AP** anterior-posterior, **ZVK** zentraler Venenkatheter, ➔ Spitze des ZVK.

Dies steht jedoch im Widerspruch zu der klinischen Beobachtung, dass linksseitige Katheter, die auf unseren Intensivstationen mit Hilfe der EKG-Methode gelegt worden waren, häufig Probleme hinsichtlich der klinischen Funktionsproben machten. Insbesondere die freie Aspirierbarkeit über das

distale Katheterlumen war oft behindert bzw. unmöglich. Die bettseitigen Röntgenaufnahmen zeigten vermehrt kritische Winkel der ZVK-Spitze mit der lateralen Wand der V. cava superior ( $> 40^\circ$ ).



**ABB 2-9 Bettaufnahme im anterior-posterioren-Strahlengang:** Fehllage eines ZVK durch Winkelbildung mit V. cava superior Hier zeigt sich ein sogenanntes „tenting“, d.h. die Lateralwand der V. cava superior ist durch die ZVK-Spitze vorgewölbt. **ZVK** zentraler Venenkatheter, ➔ Spitze des ZVK.

In mehreren Studien wurde daher die Validität der EKG-Methode mittels TEE überprüft. Die Veränderung der P-Wellen während des Kathetervorschubs wurde systematisch untersucht. Dabei interessierte insbesondere die Korrelation zwischen anatomischen Strukturen und elektrophysiologischen Phänomenen. Als Resultat konnten wir typische EKG-Veränderungen anatomischen Positionen präziser zuordnen. Die daraus resultierende neue

Vorgehensweise bei Anwendung der EKG-Methode konnte im klinischen Einsatz erfolgreich unter Beweis gestellt werden.

### **3.**

---

## **EIGENE UNTERSUCHUNGEN**

Bei Patienten der Intensivstationen des Universitätsklinikums Jena mit linksseitigen ZVKs wurde auf Thorax-Röntgen-Bildern häufig ein kritischer Winkel zwischen der Katheterspitze und der lateralen Wand der Vena cava superior beobachtet, wenn die ZVKs mit der EKG-Methode platziert worden waren. Es stellte sich daher die Frage, ob der üblichen Methode der EKG-gestützten ZVK-Positionierung ein systematischer Fehler zugrunde liegt. Aufeinander aufbauend untersuchten wir:

1. die Wertigkeit der intraatriale EKG-Methode bei der Positionierung zentraler Venenkatheter über die V. jugularis interna sinistra,
2. den Verlauf der perikardialen Umschlagfalte in Bezug zur V. cava superior (anatomische Betrachtungen und ihre Bedeutung für die Positionierung zentraler Venenkatheter),
3. die Frage, ob mit der EKG-Methode bei der Positionierung von zentralen Venenkathetern eher die perikardiale Umschlagfalte oder der rechte Vorhof detektiert wird,
4. die Limitationen des so genannten „intraatrialen EKG“ bei der Positionierung zentralvenöser Katheter,
5. die extravasale Lage von zentralen Venenkathetern trotz korrekter EKG-Ableitung,
6. die optimierte Positionierung zentraler Venenkatheter durch eine modifizierte Anwendung der intravasalen Elektrokardiographie, validiert mit Hilfe der transösophagealen Echokardiographie.

### **3.1 IST DIE INTRA-ATRIALE EKG-METHODE ZUVERLÄSSIG BEI DER POSITIONIERUNG ZENTRALER VENENKATHETER ÜBER DIE V. JUGULARIS INTERNA SINISTRA?**

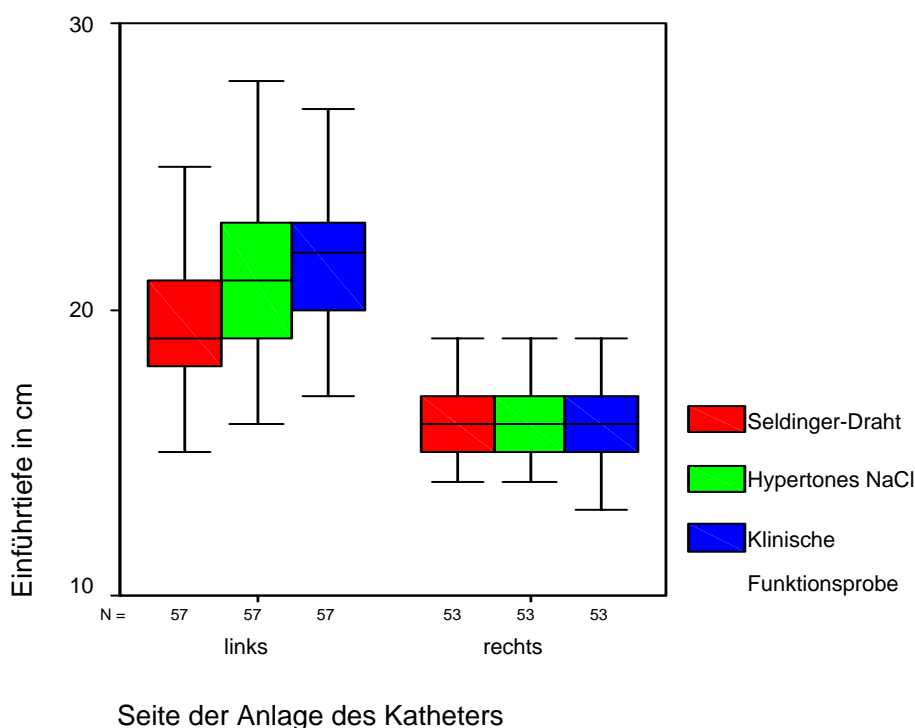
Um die Validität der EKG-gestützten Lagekontrolle bei der Anlage zentralvenöser Katheter auch über die linke Vena jugularis interna zu überprüfen, führten wir eine prospektive, randomisierte Studie an 114 Patienten durch, welche sich einer herzchirurgischen Operation mit nachfolgender intensivmedizinischer Betreuung unterziehen mussten. Bei 53 Patienten wurde über die rechte und bei 61 Patienten über die linke Vena jugularis interna ein zentralvenöser Mehrlumenkatheter angelegt (Schummer et al., 2003). Bei jedem Patienten kamen nacheinander drei Methoden zur Lagekontrolle des Katheters zur Anwendung. Zudem protokollierten wir die Einführtiefe der Katheterspitze in ganzen Zentimetern ab Hautniveau. Zunächst erfolgte die EKG-gestützte Lagekontrolle über den zur Katheteranlage genutzten Seldingerdraht, anschließend wurde das EKG über den mit hypertoner Kochsalzlösung gefüllten distalen Schenkel des Katheters abgeleitet. Als drittes Verfahren erfolgte die klinische Funktionsprobe auf freie Aspirierbarkeit aller Katheterschenkel. Die transösophageale Echokardiografie diente als Referenzmethode zum Ausschluss einer intraatrialen Lage der Katheterspitze.

Bei Anlage des zentralen Venenkatheters über die rechte Vena jugularis interna traten keine Fehllagen auf. Beim Zugang über die linke Vena jugularis interna fanden sich insgesamt 13 Fehllagen (21%). Nur ein Drittel dieser Fehllagen (4) waren mittels der EKG-gestützten Lagekontrolle detektiert worden. Die anderen

9 Fehllagen stellten sich erst im postoperativen Thorax- Röntgen-Bild mit einem Winkel von  $> 40^\circ$  zur lateralen Wand der Vena cava superior dar (Tab. 3-1).

	RVJI (n = 53)		LVJI (n = 57)	
	Vorgeschoben	Nicht vorgeschoben	Vorgeschoben	Nicht vorgeschoben
	9 (17%)	44 (83%)	48 (84%)	9 (16%)
<b>ZVK</b>				
TEE:				
Katheterspitze im RA	0	0	5	0
AP-Thorax:				
Winkel $> 40^\circ$	0	0	5	4

**TAB 3-1** Fehllagen der Katheterspitze in der transösophagealen Echokardiografie und im anterior-posterior (**AP**) Thorax Röntgen-Bild. Aufgeteilt nach Lagekorrektur in Abhängigkeit zur klinischen Funktionsprobe.  
**RVJI** V. jugularis interna rechts, **LVJI** V. jugularis interna links, **ZVK** zentraler Venenkatheter, **TEE** Transösophageale Echokardiographie, **RA** rechter Vorhof.



**ABB 3-1** Grafische Darstellung der Einführtiefe des Katheters in Zentimetern nach Durchführung der drei Lagekontrollverfahren: Anlage via Vena jugularis interna rechts versus Vena jugularis interna links. Die Verteilung der Einführtiefen ist in Box-and-Whiskers-Plots dargestellt. Mit jedem Kasten werden Median, Quartile und Extremwerte in einer Kategorie angezeigt. Dabei ist der Median durch einen Querstrich gekennzeichnet, die untere Grenze der Box entspricht der 25%-Perzentile und die obere Grenze der 75%-Perzentile, die obere oder untere Kante des Balkens entspricht den Extremwerten.  
**NaCl** Kochsalzlösung.



Des Weiteren zeigte sich ein signifikanter Unterschied bezüglich der Einführtiefe der Katheterspitze zwischen den drei Lagekontrollverfahren bei Anlage des Katheters über die linke Vena jugularis interna. Bei 48 von 57 linksseitigen Kathetern (84%) war nach vermeintlich korrekter Platzierung laut EKG-Ableitung im Rahmen der klinischen Funktionsprobe ein weiteres Vorschieben des Katheters bis zur freien Aspirierbarkeit aller Lumina erforderlich. Nur fünf Katheterspitzen zeigten sich in der anschließend durchgeführten transösophagealen Echokardiografie intraatrial am Übergang der Vena cava superior zum rechten Atrium.

Aus den Ergebnissen der Studie ergibt sich zunächst, dass eine alleinige EKG-gestützte Lagekontrolle bei linksseitiger Anlage zentralvenöser Katheter eine Fehllage des Katheters nicht ausschließen kann. Hier sollte weiterhin eine Röntgenaufnahme des Thorax angefertigt werden.

Diese Beobachtungen sprechen außerdem dafür, dass die Amplitude der P-Welle nicht erst bei Lage der Katheterspitze im rechten Atrium ansteigt. Bereits das mit Flüssigkeit gefüllte Perikard, welches die Vena cava superior in unterschiedlicher Ausdehnung kranialwärts umschließt, scheint zu einer Amplitudenvergrößerung beizutragen.

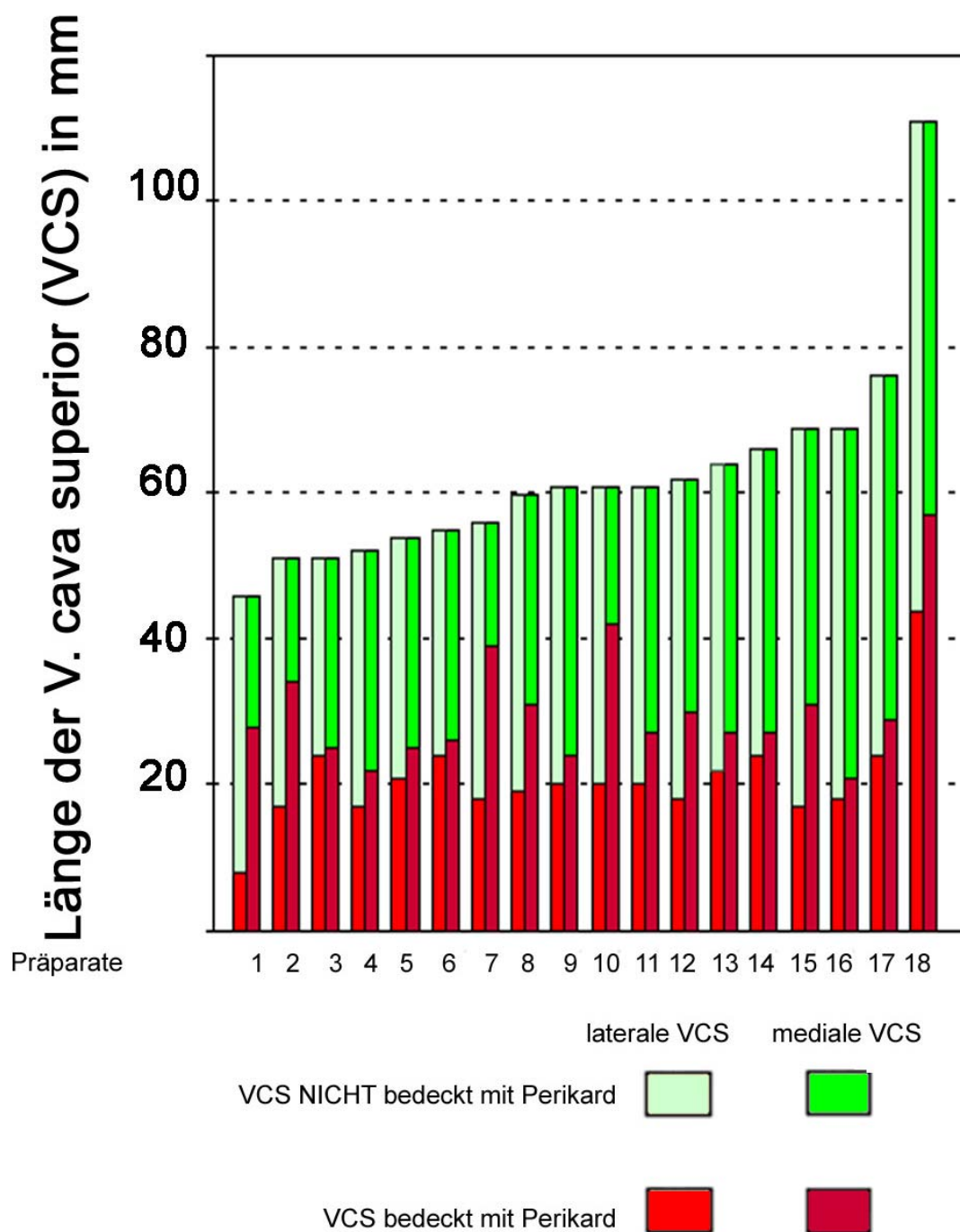
Als erster Schritt vor Überprüfung dieser Hypothese wurde zunächst der Verlauf der perikardialen Umschlagfalte an Leichen untersucht.

### **3.2 WIE VERLÄUFT DIE PERIKARDIALE UMSCHLAGFALTE IN BEZUG ZUR VENA CAVA SUPERIOR UND WELCHE BEDEUTUNG HAT IHRE ANATOMIE FÜR DIE POSITIONIERUNG ZENTRALER VENENKATHETER?**

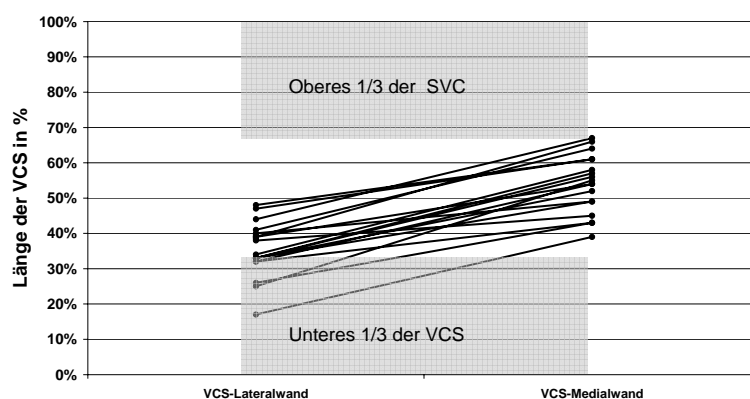
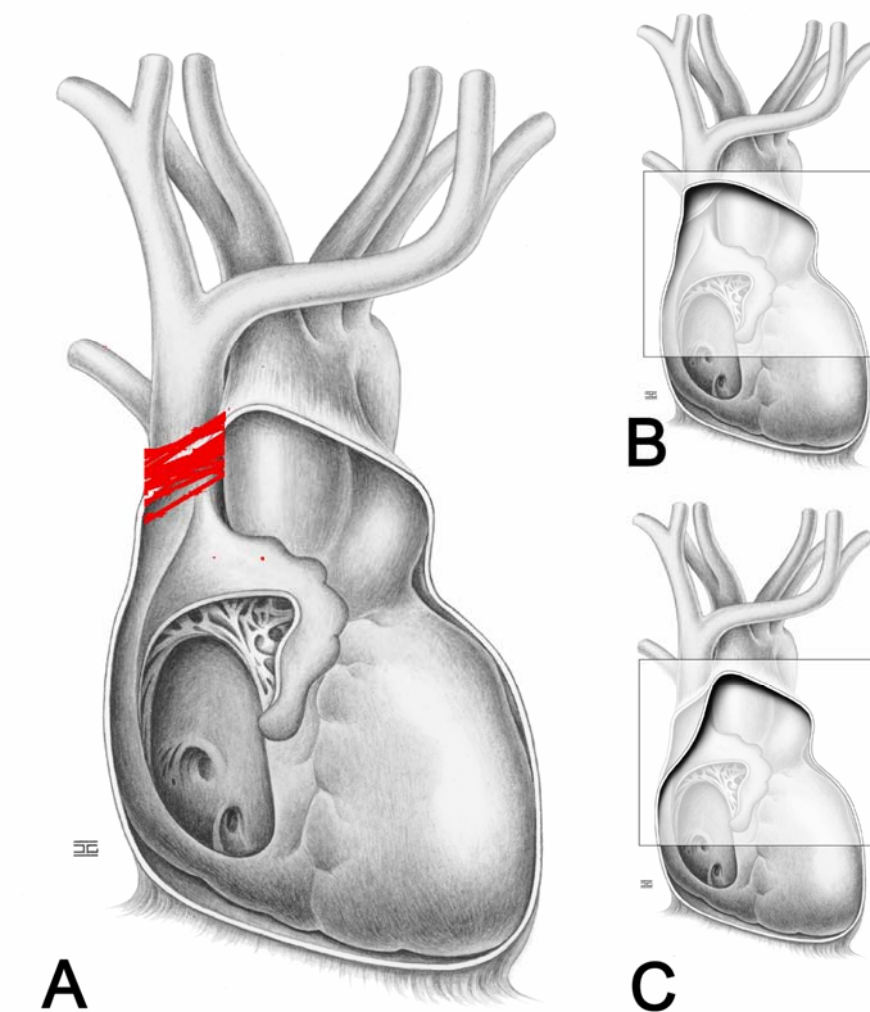
Im Institut für Anatomie der Friedrich-Schiller-Universität Jena wurde bei 18 konservierten Erwachsenenleichen (1% Formalin, 64% Ethanol) die Länge der V. cava superior (vom Zusammenfluss der beiden Vv. brachiocephalicae bis zur Mündung in den rechten Vorhof) sowie ihr intraperikardialer Anteil gemessen: Da die perikardiale Umschlagfalte schräg über die Vene zieht, bestimmten wir neben der Gesamtlänge den lateralen und medialen intraperikardialen Anteil der V. cava superior (Bayer et al., 2006).

Es zeigte sich, dass die Gesamtlänge wie auch der intraperikardiale Anteil der V. cava superior sehr variabel ist (Gesamtlänge: Median = 61 mm, Streubreite: 46 –110 mm). Die Gesamtlänge der V. cava superior korreliert mit dem intraperikardialen Anteil, sowohl medial (Median: 32 mm, Streubreite: 18–54 mm) als auch lateral (Median: 20 mm, Streubreite: 8–44 mm; Spearman-Rank Test,  $p < 0,05$ ; Abb. 3-2).

Bei den mit Formalin und Ethanol konservierten Leichen war nur das untere Drittel der V. cava superior regelmäßig vom Perikard bedeckt (Abb. 3-3). Bei den meisten Leichen lag die perikardiale Umschlagfalte an der medialen Cavawand mehr als 25 mm vom Cava-Vorhof-Übergang entfernt.



**ABB. 3-2 Graphische Darstellung der Messergebnisse:** Die mit Perikard bedeckte Strecke der V. cava superior (VCS) ist an der lateralen und medialen Wand gemessen worden.



**ABB. 3-3 Einige anatomische Variationen des Verlaufs der perikardialen Umschlagfalte:** Mit verschiedenen Winkeln kann die Umschlagfalte von der lateralen zur medialen Seite der V. cava superior (VCS) ziehen. **A:** schräg; **B:** horizontal; **C:** steil. **D:** Verhältnis der mit Perikard bedeckten zu unbedeckter V. cava superior an der lateralen und medialen Venenwand. Diese Abbildung illustriert, dass das untere Drittel der V. cava superior regelmäßig von Perikard bedeckt ist (grau hinterlegt: oberes und unteres Drittel der V. cava superior).

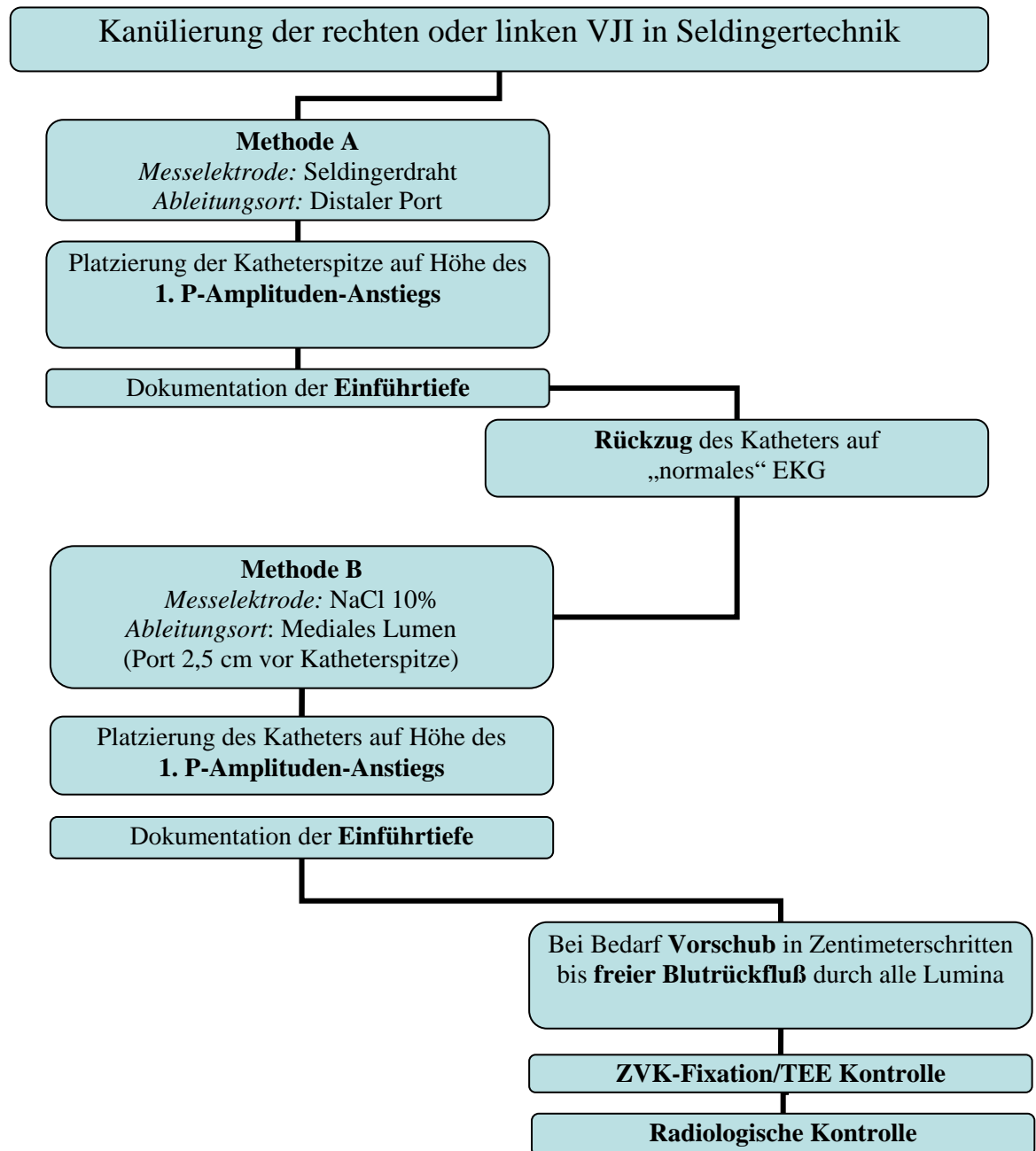
Diese Ergebnisse stützen die Hypothese, dass die Zunahme der P-Wellen-Amplitude den Eintritt der V. cava superior in das Perikard markiert. Da EKG-gestützt platzierte ZVKs mit ihrer Spitze radiologisch mehrere Zentimeter vor dem rechten Vorhof zu liegen kommen (unveröffentlichte Daten), liegt die Vermutung nahe, dass der erste Anstieg der P-Welle bereits mit der Passage der perikardialen Umschlagfalte auftritt. Aus den Untersuchungen an Leichen konnten wir schließen, dass die intraperikardiale Cavalänge in der Regel über 2,5 cm beträgt. Die anatomische Variabilität ist aber sehr groß, kurz- und langstreckige Verläufe sind nicht selten (Abb. 3-3).

Ein Platzieren der Katheterspitze 2,5 cm unterhalb der perikardialen Umschlagfalte sollte allerdings meistens zu einer extra-atrialen Lage führen.

### **3.3 WIRD MIT DER EKG-METHODE BEI DER POSITIONIERUNG VON ZENTRALEN VENENKATHETERN EHER DIE PERIKARDIALE UMSCHLAGFALTE ODER DER RECHTEN VORHOF DETEKTIERT?**

Je 50 Patienten, die einen 3-Lumen-ZVK in die rechte bzw. linke V. jugularis interna erhielten, wurden in dieser prospektiven randomisierten Studie ausgewertet (Schummer et al., 2004a). Zunächst leiteten wir das EKG über den im distalen Lumen des Kathetes liegenden Seldingerdraht ab. Der Katheter wurde bis zum Anstieg der P-Wellen-Amplitude (etwa verdoppelt) vorgeschoben (Methode A) und die Einführtiefe wurde dokumentiert. Im zweiten Schritt wurde der Katheter um fünf Zentimeter zurückgezogen, die Platzierung mit hypertonischer Kochsalzlösung (NaCl 10%) im mittleren Lumen wiederholt (Methode B) und wiederum die Einführtiefe dokumentiert. Die Öffnung dieses

Lumens befand sich 2,5 cm vor dem distalen Katheterende. Der Katheter müsste also etwa 2,5 cm tiefer eingeführt werden als bei Methode A.



**ABB. 3-4 Flussdiagramm des Studiendesigns.** *VJI: Vena jugularis interna, TEE: Transösophageale Echokardiographie ZVK: zentraler Venenkatheter, NaCl: Kochsalzlösung, EKG: Elektrokardiogramm.*

Anschließend wurden zusätzlich alle Lumina auf freien Blutrückfluss überprüft und bei Bedarf der Katheter in Zentimeterschritten weiter vorgeschoben. Dann

fixierten wir ihn, kontrollierten die Lage im TEE und protokollierten das Ergebnis.

Je 50 Katheter konnten pro Punktionsseite ausgewertet werden. Die einzelnen Ergebnisse sind der Tabelle 3-2 zu entnehmen. Wie erwartet wurden die Katheter mit der Methode B etwa zwei Zentimeter tiefer als mit der Methode A eingeführt. Die TEE bestätigte bei allen 100 Kathetern die Position in der V. cava superior oberhalb der Crista terminalis vor dem rechten Atrium. Ein kritischer Winkel zur lateralen Venenwand konnte mittels der postoperativ angefertigten Thorax-Röntgen-Aufnahme ausgeschlossen werden.

	Rechte VJI (n = 50)	Linke VJI (n = 50)
Methode A: Einführtiefe (cm)	15,7 ± 1,5	20,4 ± 2,2
Methode B: Einführtiefe (cm)	17,6 ± 1,5	22,4 ± 2,2
Differenz der Einführtiefe Methode A-B	2,0 ± 0,2	2,0 ± 0,2
Nachträgliche Positionsveränderung, um freien Blutrückfluss zu erhalten	0	0
Katheter im rechtem Vorhof in der TEE	0	0
Winkel zwischen Katheter und Venenwand > 40° (Thorax-Röntgen)	0	0

**TAB 3-2 Messergebnisse:** Mittelwert ± Standardabweichung der beiden Gruppen.  
**VJI:** Vena jugularis interna, **TEE:** Transösophageale Echokardiographie.

Diese Ergebnisse interpretieren wir dahingehend, dass sowohl Methode A als auch B ein und dieselbe Struktur detektiert. Als anatomisches Korrelat bietet sich die perikardiale Umschlagfalte an, denn sie dient als elektrischer Isolator und überzieht meist mehrere Zentimeter vor dem rechten Vorhof die V. cava superior.

Zur Klärung der Frage, ob die P-Wellen-Amplitude bereits auf Höhe der perikardialen Umschlagfalte zunimmt, erfolgte zunächst eine Pilotstudie an Schweinen. Danach wurden die P-Wellen während kardiochirurgischer Eingriffe am offenen Herzen ober- und unterhalb der perikardialen Umschlagfalte abgeleitet.

### **3.4 LÄSST SICH MITTELS SO GENANNTEN „INTRAATRIALEM EKG“ EINE GEEIGNETE POSITIONIERUNG ZENTRALVENÖSER KATHETER SICHERSTELLEN?**

#### **3.4.1 TIEREXPERIMENTELLE STUDIE**

Im Rahmen einer Studie wurde bei sechs Schweinen je ein Dreilumen-Katheter über die linke V. jugularis externa und die rechte A. carotis eingebracht (Schummer et al., 2004b). Die EKG-Ableitung erfolgte jeweils über den Seldingerdraht im distalen Lumen.

Nach Erreichen der ersten Zunahme der P-Wellen-Amplitude wurden sowohl der venöse als auch der arterielle Katheter um weitere zwei Zentimeter vorgeschoben und fixiert. Nach Beendigung des Experiments und Exitus der Tiere wurden die Herzen und Gefäße eröffnet und die Katheterspitzenpositionen in situ bestimmt. Es zeigte sich, dass alle Katheter etwa zwei Zentimeter unterhalb der perikardialen Umschlagfalte, aber noch außerhalb des Herzens positioniert waren.



### **3.4.2 KLINISCHE STUDIE**

Bei zehn Patienten, die sich einem offenen herzchirurgischen Eingriff unterziehen mussten, wurde das EKG (hypertone Kochsalzlösung im distalen Lumen) während des Vorschubs des Pulmonalkatheters an mehreren anatomisch definierten Positionen untersucht: erstens deutlich oberhalb der perikardialen Umschlagfalte in der V. brachiocephalica sinistra (Position 1), zweitens in Höhe der perikardialen Umschlagfalte (Position 2).

In situ ermittelte der Kardiochirurg die Lage der Katheterspitze mit zwei alternativen Methoden: entweder durch Detektion des emmitierten roten Lichtes der Faseroptik des Pulmonalkatheters (PAK), oder durch Erasten des aufgeblasenen Ballons. Erreichte der PAK die perikardiale Umschlagfalte, wurde das EKG dokumentiert. Die in Position 1 und 2 aufgezeichneten EKGs, vermaß ein unabhängigen Untersucher. Er konnte immer einen Anstieg der P-Wellen-Amplitude auf Höhe der perikardialen Umschlagfalte feststellen.

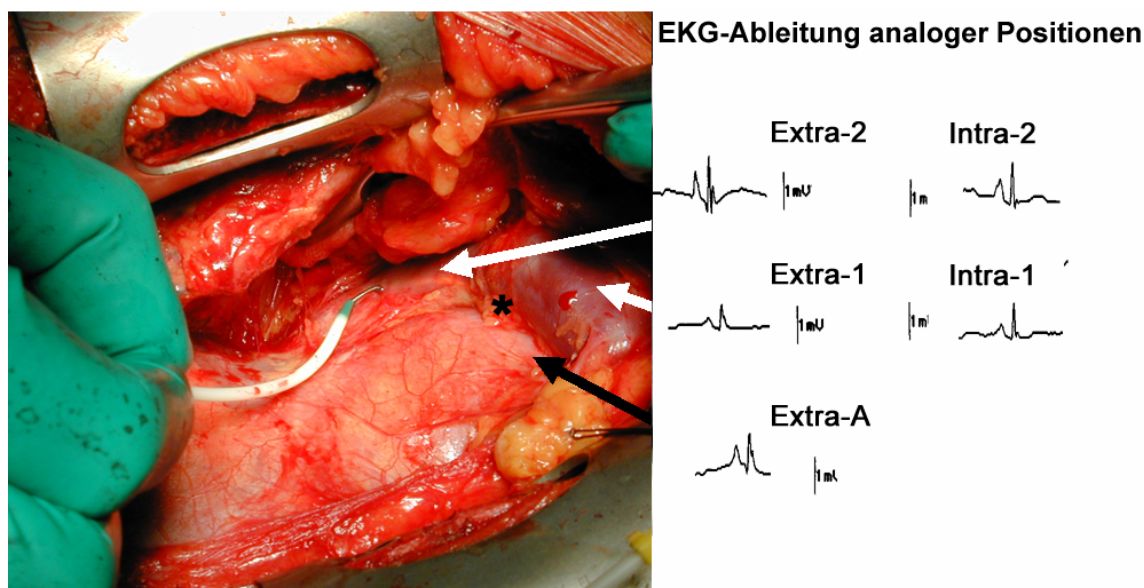
Diese beiden Studien belegen unsere Hypothese, dass der Anstieg der P-Welle mit dem Erreichen der Katheterspitze an der Perikardgrenze auftritt. Tierexperimentell konnte gezeigt werden, dass dies auf venöse und arterielle Katheter zutrifft.

Aus den oben genannten Daten ergibt sich die Frage, ob man anhand der EKG-Methode überhaupt auf eine korrekte intravenöse Lage des ZVKs schließen kann.

### **3.5 LÄSST SICH EINE EXTRAVASALE LAGE VON ZENTRALEN VENENKATHETERN BEI KORREKTER EKG-ABLEITUNG AUSSCHLIEßEN?**

In einer prospektiven Beobachtungsstudie an 24 konsekutiv behandelten kardiochirurgischen Patienten wurde präoperativ 18 mal die linke und sechs mal die rechte V. jugularis interna punktiert (Schummer et al., 2005b). Über einen Seldingerdraht, der in einem Dreilumen-Katheter lag, wurde an drei verschiedenen intravasalen Positionen das EKG abgeleitet, aufgezeichnet und die P-Welle später vermessen:

- Intra-1 (intravasales Ausgangs-EKG): 10-cm-Markierung des Katheters auf Hautniveau,
- Intra-2: Deutlicher Anstieg der P-Wellen-Amplitude unter Kathetervorschub,
- Intra-3: Maximale P-Wellen-Amplitude. In dieser Position erfolgte dann auch die Lagekontrolle der Katheterspitze mittels TEE. Die Fixierung des Katheters erfolgte ebenso mit der Spitzenposition bei Intra-3.

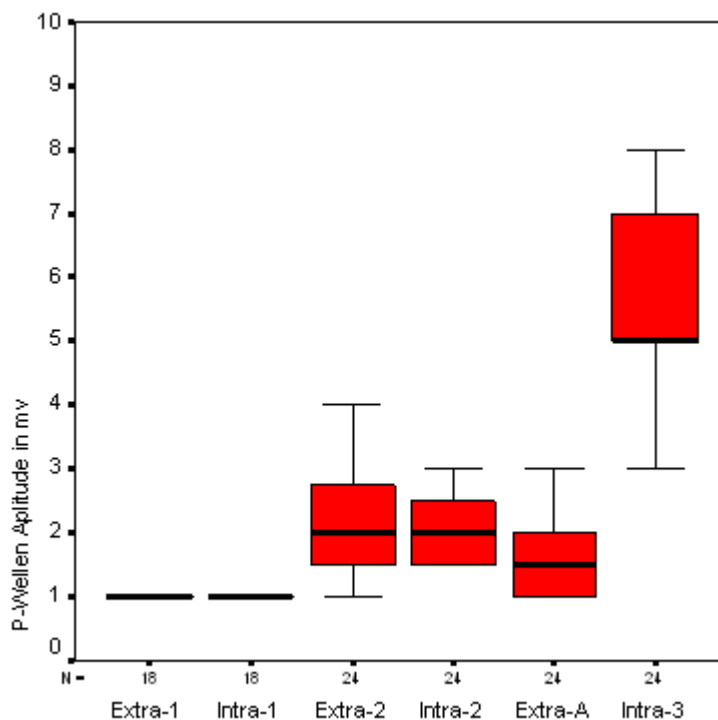


**ABB. 3-5 Operationssitus:** Der Katheter mit Seldingerdraht berührt die V. cava superior bei ungeöffneten Perikardsack (Extra-2) unterhalb der perikardialen Umschlagfalte (\*). Zur Darstellung der Veränderung der P-Wellen sind die intra- und extravasalen EKG-Kurven der gekennzeichneten Ableitungspositionen dieses Patienten nebeneinander abgebildet. **Intra-1** Ausgangs-EKG, **Intra-2** Deutlicher Anstieg der P-Welle, **Intra-3** Maximale P-Wellen-Amplitude, **Extra-1** V. brachiocephalica links, extravasal oberhalb der perikardialen Umschlagfalte, **Extra-2** V. cava superior extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte, **Extra-A** Aorta ascendens extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte. Die Pfeile zeigen auf die jeweiligen Ableitungsstellen.

Intraoperativ wurde durch den Kardiochirurgen ein anderer Katheter mit innen liegendem Seldingerdraht an folgenden drei Stellen platziert und das darüber abgeleitete EKG ebenfalls aufgezeichnet und später vermessen:

- Extra-1: V. brachiocephalica sinistra extravasal oberhalb der perikardialen Umschlagfalte,
- Extra-2: V. cava superior extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte,
- Extra-A: Aorta ascendens extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte.

Postoperativ wurde ein Röntgen-Thorax angefertigt. Es zeigte sich in der TEE-Kontrolle, dass alle Katheterspitzen an der Basis der Crista terminalis, dem Übergang zwischen V. cava superior und rechtem Vorhof, platziert waren. Auf den Positionen Intra-2, Extra-2 und Extra-A war der Anstieg der P-Wellen-Amplitude gegenüber dem Ausgangswert Intra-1 hoch signifikant (Intra-1/Intra-2, Intra-1/Extra-2, Intra-1/Extra-A:  $p$  jeweils  $< 0,001$ ). Die P-Wellen-Amplituden der sich entsprechenden intra- und extravasalen Positionen in der linken V. brachiocephalica (Intra-1/Extra1,  $n = 18$ ,  $p = 0,096$ )) sowie der V. cava superior (Intra-2/Extra-2,  $n = 24$ ,  $p = 0,859$ ) unterschieden sich hingegen nicht.



**ABB. 3-6 Darstellung der P-Wellen-Amplituden als Box-and-Whiskers-Plot:** Der Strich innerhalb der Box kennzeichnet den Median, die untere Grenze der Box die 25%-Perzentile und die obere Grenze die 75%-Perzentile. Die ober- und unterhalb der Box stehenden Querstriche geben den größten und kleinsten Wert an. **Intra-1:** Ausgangs-EKG, **Intra-2:** deutlicher Anstieg der P-Welle, **Intra-3:** maximale P-Wellen-Amplitude, **Extra-1:** V. brachiocephalica links, extravasal oberhalb der perikardialen Umschlagfalte, **Extra-2:** V. cava superior extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte, **Extra-A:** Aorta ascendens extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte.

Nach den vorliegenden Ergebnissen lässt sich anhand der EKG-Methode eine intravasale Lage wahrscheinlich nicht von einer extravasalen, noch einer intraarteriellen Fehllage in der Aorta ascendens unterscheiden.

Bislang wurde eine intraatriale Position angenommen, wenn die P-Welle signifikant erhöht ist. Wir konnten jedoch zeigen, dass eine signifikante P-Amplituden-Erhöhung auch bei extraatrialen, extravasalen oder intraarteriellen Fehllagen in der Aorta ascendens auftritt.

Weiter interessierte uns die Frage, ob eine maximale P-Wellen-Amplitude, wie bislang behauptet, wirklich im rechten Vorhof abgeleitet wird. Daher evaluierten wir eine modifizierte Methode der EKG-gestützten ZVK-Platzierung mittels transösophagealer Echokardiographie (TEE).

### **3.6 LÄSST SICH DURCH EINE MODIFIZIERTE ANWENDUNG DER INTRAVASALEN ELEKTROKARDIOGRAPHIE, VALIDIERT MIT HILFE DER TRANSÖSOPHAGEALEN ECHOKARDIOGRAPHIE, EINE OPTIMIERTE POSITIONIERUNG ZENTRALER VENENKATHETER ERREICHEN?**

In folgender prospektiver randomisierter Studie wurden bei jeweils 100 Patienten die rechte bzw. die linke V. jugularis interna kanüliert (Tab. 3-3)

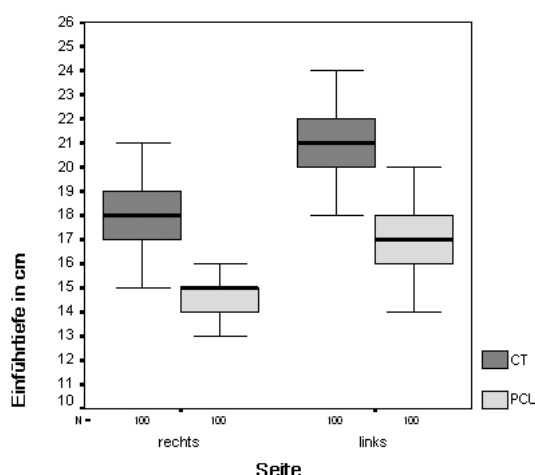
Die Platzierung der Katheterspitze erfolgte mittels EKG. In allen Fällen kam es beim Verschieben des Katheters mittels Seldingerdraht zunächst zu einem geringen (P-rise), dann aber zu einem deutlichen Anstieg der P-Wellen-Amplitude. Nach Erreichen eines Maximums (P-max) wurden unter weiterem Vorschub alle P-Wellen wieder kleiner bzw. biphasisch. Nach Rückzug auf P-

max wiesen alle Katheterspitzen in der TEE eine korrekte Lage auf. Sie befanden sich maximal 0,5 cm ober- oder unterhalb der Basis der Crista terminalis (Übergang zwischen Vorhof und V. cava superior). Blut war jeweils über alle drei Lumina der ZVKs frei aspirierbar. Der Katheter wurde an der Stelle fixiert, an der die P-Welle die größte Amplitude erreichte und die Einführtiefe dann notiert. Mit Hilfe der TEE wurde die Lage der ZVK-Spitze in Relation zur Crista terminalis bestimmt. Mittels intraatrialer Elektrokardiographie konnte immer eine maximale P-Welle definiert werden. In keinem Fall war eine nachträgliche Lagekorrektur erforderlich. Außer vereinzelten supraventrikulären bzw. ventrikulären Extrasystolen traten keine weiteren Arrhythmien auf.

	Punktionsseite	
	Rechts (n = 100)	Links (n = 100)
<b>Geschlecht (w/m)</b>	29/71	28/72
<b>Alter</b>	64,8 ± 10,5 (26–82)	66,0 ± 10,6 (29–86)
<b>Größe (cm)</b>	170,4 ± 8,4 (149–190)	169,8 ± 8,7 (150–188)
<b>Gewicht (kg)</b>	81,8 ± 13,8 (50–124)	79,6 ± 12,6 (51–110)
<b>Body mass index</b>	28,2 ± 4,3 (19,3–40)	27,6 ± 3,9 (19,7–39,1)
<b>Einführtiefe des ZVK bei P-rise (cm)</b>	14,6 ± 1,4 (10–20)	17,2 ± 1,4 (14–22)
<b>Einführtiefe des ZVK bei P-max (cm)</b>	18 ± 1,6 (13–23)	21 ± 1,7 (17–26)
<b>Position der ZVK-Spitze im TEE</b>		
Basis der Crista terminalis ± 0,5 cm	100	100
Rechter Vorhof	0	0
<b>Nachträgliche Lagekorrektur</b>	0	0
<b>Arrhythmie</b>	0	0
<b>Parallelität des ZVK mit VCS</b>	100	100

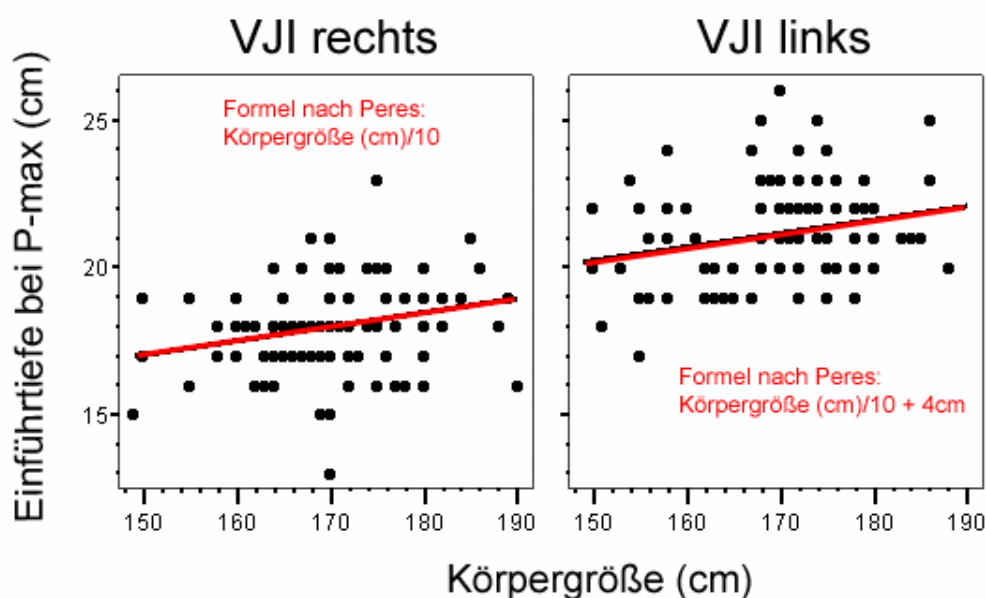
**TAB 3-3 200 EKG-gestützte ZVK Platzierungen kontrolliert mittels TEE:** Demographie und Ergebnisse als Mittelwert ± Standardabweichung (Spannweite). **P-rise:** erster Anstieg der P-Wellen Amplitude, **P-max:** maximaler Anstieg der P-Wellen Amplitude, **ZVK:** zentraler Venenkatheter, **VCS:** Vena cava superior, **TEE:** Transösophageale Echokardiographie.

Die Einführtiefe beim ersten Anstieg der P-Welle variierte rechts zwischen 10 und 20 cm, links zwischen 14 und 22 cm. Die Einführtiefe des Katheters beim Erreichen der maximalen P-Wellen Amplitude lag rechts zwischen 13 und 23 cm, links zwischen 17 und 26 cm (Tab. 3-3). Die Differenz zwischen diesen beiden Messpunkten betrug rechts drei bis fünf, links drei bis sieben Zentimeter.



**ABB 3-7** Box-and-Whiskers-Plots: **200 EKG-gestützte ZVK Platzierungen mit schrittweisem Vorschub, kontrolliert mittels TEE:** Einführtiefe der ZVKs bei erstem Anstieg der P-Wellen-Amplitude (P-rise) und auf Höhe der maximalen P-Wellen-Amplitude (P-max), aufgeteilt nach Punktionsseiten (Rechts: n = 100, Links: n = 100). **CT:** Basis der Crista terminalis, **PCU:** Perikardiale Umschlagfalte.

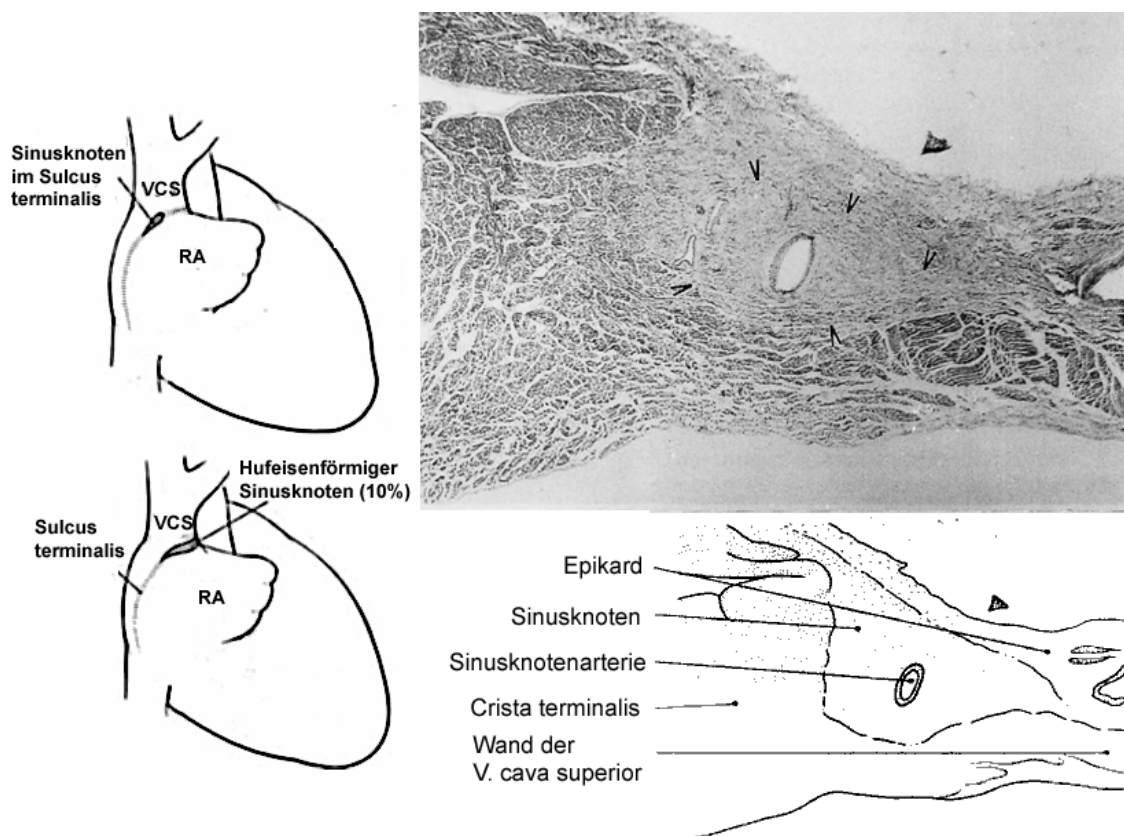
Körpergröße und Einführtiefe des Katheters bei P-max korrelierten nur schwach miteinander, obwohl die Korrelationskoeffizienten signifikant von Null abwichen.



**ABB 3-8** Streudiagramm: Die Gerade stellt die errechnete Einführtiefe nach Peres dar. Die Punkte zeigen die Einführtiefe der Katheter, die mit ihrer Spitze genau am Übergang V. cava superior/rechter Vorhof lagen. **VJI:** Vena jugularis interna, **P-max:** maximaler Anstieg der P-Wellen Amplitude.

Das zeigen die niedrigen Werte der Korrelationskoeffizienten und die graphischen Darstellungen im Streudiagramm (rechts:  $r = 0,262$ ,  $p = 0,009$ ; links:  $r = 0,242$ ,  $p = 0,015$ ; Abb. 3-8).

Die Winkel der ZVKs zur lateralen Wand der V. cava superior waren in der postoperativ durchgeführten Röntgenkontrolle bei allen Patienten kleiner als  $20^\circ$ , die Katheter lagen also parallel zum Verlauf der V. cava superior. Daraus ergibt sich Folgendes: Im Gegensatz zur üblichen Methode der EKG-gestützten ZVK-Positionierung erreichten wir mit unserem Ansatz regelmäßig eine korrekte Lage der Katheterspitze am Übergang zum rechten Vorhof mit parallelem Verlauf des Katheters zur V. cava superior.



**ABB 3-9 Anatomie und Histologie des Sinusknoten:**  
**VCS:** V. cava superior, **RA:** rechtes Atrium.

Die intravasale Elektrokardiographie ermöglicht es, die Spitze zentraler Venenkatheter am Übergang der V. cava superior zum rechten Vorhof nahe der



Crista terminalis zu positionieren, wenn er an der Stelle der maximalen P-Wellen-Amplitude fixiert wird.

Aufgrund unserer Untersuchungsergebnisse halten wir die Crista terminalis für das anatomische Korrelat der maximalen P-Wellen-Amplitude. Bei Kathetern von links entfällt an „P-max“ die Gefahr der Winkelbildung mit der Venenwand, die Gefahr der Perforation ist also minimiert. Die Anwendung von Formeln zur Festlegung der Einführtiefe von ZVKs kann nur als grober Anhaltspunkt dienen.

**4.**

---

## **DISKUSSION**

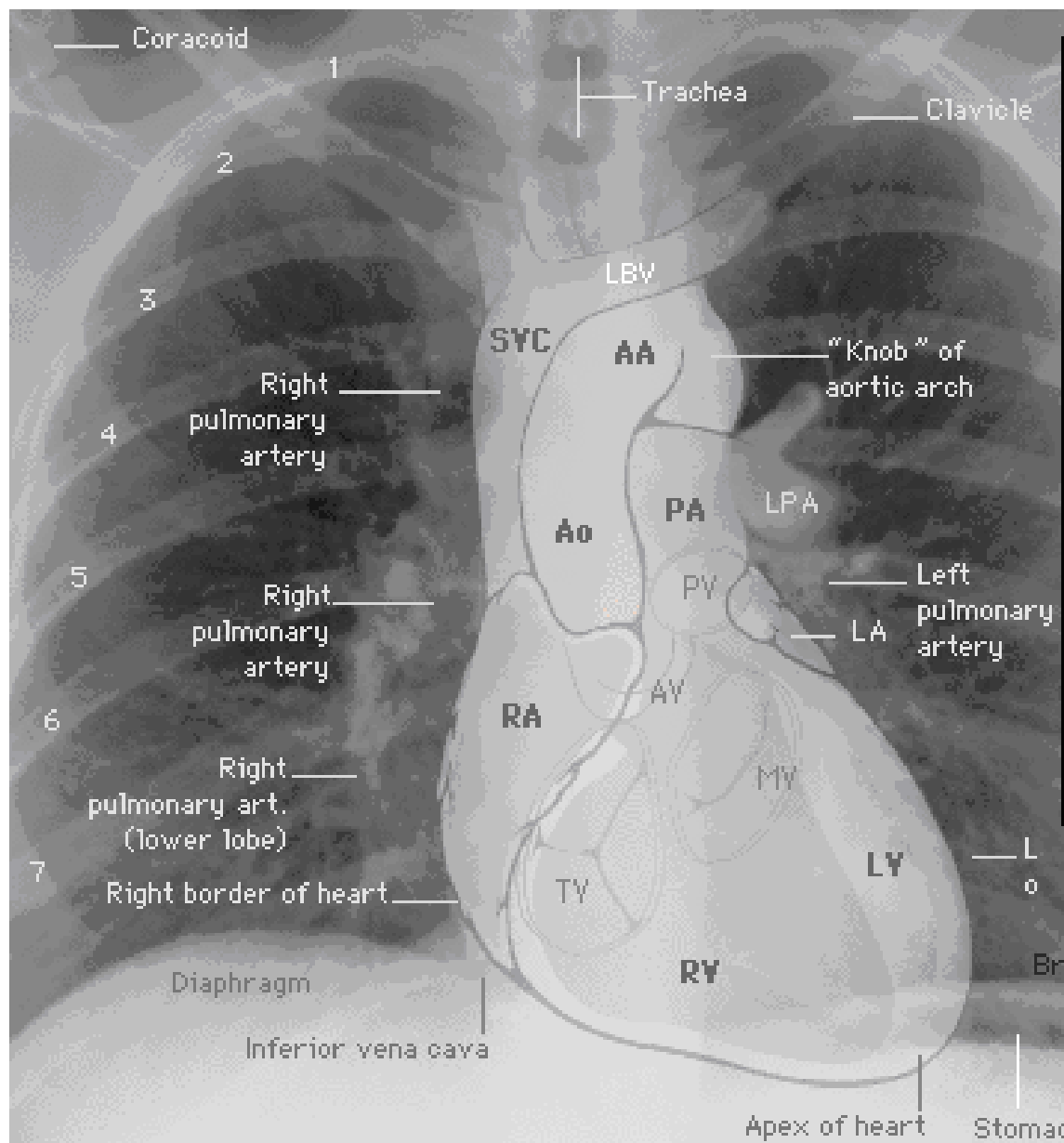
Eingedenk der potenziellen Komplikationen gehört es zu den Sorgfaltspflichten des Arztes, die ZVK-Lage nach der Platzierung eines Katheters zu kontrollieren. Obwohl nunmehr seit vielen Jahren millionenfach ZVKs platziert wurden und werden, besteht kein Konsens bezüglich der angestrebten Katheterspitzenposition. Lediglich für bestimmte Situationen, bei denen die ZVK-Spitzen in den rechten Vorhof gehören (z.B. bei einem ventrikulo-atrialer Shunt bzw. einem ZVK, der der Absaugung von Luft bei neurochirurgischen Operationen in sitzender Position dienen soll), besteht Einigkeit.

#### **4.1 OPTIMALE KATHETERLAGE - WO SOLL DIE SPITZE EINES ZVK POSITIONIERT SEIN?**

Obwohl die optimale Position einer ZVK-Spitze kontrovers diskutiert wird, wird die Positionierung in einer zentralen Vene im allgemeinen als ausreichend angesehen. Im Jahr 1989 veröffentlichte die US-amerikanische *Food and Drug Administration* einen Warnhinweis bezüglich der Positionierung zentraler Venenkatheter, der besagt, dass die Katheterspitze weder im Herzen platziert werden sollte, noch die Möglichkeit haben sollte, dorthin zu wandern (Food-and-Drug-Administration, 1989). Dem gegenüber stehen die eher praxisorientierten Leitlinien der *Society of Cardiovascular and Interventional Radiology* aus dem Jahr 1997 mit ihrer Überarbeitung von 2003 (Lewis et al., 1997; Lewis et al., 2003) und die der *National Kidney Foundation* aus den Jahren 1997 und 2001, die die Katheterspitzen im oberen Vorhof positioniert wissen wollen (National Kidney Disease Outcomes Quality Initiative, 1997; National Kidney Disease Outcomes Quality Initiative, 2001). Der Kern der

unterschiedlichen Auffassungen liegt in der Besorgnis um die Perforationsgefahr auf der einen Seite, und dem Streben nach einer optimalen Funktion des Katheters auf der anderen (Vesely, 2003).

#### 4.1.1 ANATOMIE DER VENA CAVA SUPERIOR



**ABB 4-1 Detaillierte radiologische Darstellung des Thorax:** Die Abbildung demonstriert die Komplexität der sich überlappenden Gefäße und Strukturen und verdeutlicht die Schwierigkeit, einzelne Gefäße eindeutig zu identifizieren.

**LBV:** V. brachiocephalica sinistra, **SVC:** V. cava superior, **RA:** Atrium dexter, **RV:** Ventriculus dexter, **PA:** Truncus pulmonalis, **LPA:** A. pulmonalis sinistra, **LA:** Atrium sinistrum, **LV:** Ventriculus sinister, **Ao:** Aortenwurzel, **AA:** Aorta ascendens.

Die V. cava superior wird von beiden Vv. brachiocephalicae gespeist. Sie drainiert das Blut der oberen Körperhälfte und des Kopfes. Auf einer anterior-posterioren Röntgenaufnahme des Thorax projiziert sich das proximale Ende der V. cava superior auf den Sternalansatz des Unterrandes der ersten rechten Rippe. Dann verläuft die Vene vertikal abwärts und mündet in den oberen rechten Vorhof im Bereich des knorpeligen Anteils der dritten Rippe. Die innerste Schicht des Herzbeutels (Pericardium serosum) schlägt über den großen Blutgefäßen in das Epikard um, das dem Herzen direkt aufliegt. Die untere Hälfte der V. cava superior (ab Sternalansatz zweite Rippe) liegt also innerhalb des bindegewebigen Perikards. Zwischen Perikard und Epikard liegt ein mit Flüssigkeit gefüllter kapillärer Spaltraum, der reibungsarme Verschiebungen des Herzen im Herzbeutel ermöglicht. Die V. cava superior besitzt keine Klappen. Weitere Zuflüsse der V. cava superior sind die V. azygos und andere kleine Venen aus dem Perikard und anderen mediastinalen Strukturen. Laut Lehrbuch ist die V. cava superior etwa sieben Zentimeter lang (Gray, 2005). Dies entspricht in etwa unseren Messungen bei 18 mit Formalin/Ethanol konservierten Leichen. Die Gesamtlänge der V. cava superior war sehr variabel (gemittelt 6,1 cm, 4,6–11,0 cm), die Umschlagfalte zog schräg von lateral unten nach medial oben (intraperikardiale V. cava superior: lateral gemittelt: 2,0 cm, 0,8–4,4 cm; medial gemittelt: 3,2 cm, 1,8–5,4 cm). Dabei muss allerdings bedacht werden, dass mit Formalin präparierte Weichteile eine Schrumpftendenz haben. Dies wurde von Albrecht und Mitarbeitern gezeigt, indem sie die V. cava superior frischer und mit Formalin/Ethanol konservierter Leichen miteinander verglichen (Albrecht et al., 2004). Die Cavalänge

reduzierte sich bei den konservierten Leichen von gemittelt 5,3 auf 3,4 cm, die des intraperikardialen Anteils von 3,4 auf 3,0 cm.

Um die anatomische Relation der im Röntgenbild gut sichtbaren Carina (zwischen beiden Hauptbronchien) zur V. cava superior zu bestimmen, präparierten Schuster und Mitarbeiter 34 konservierte Leichen (Schuster et al., 2000). Im Durchschnitt betrug der intraperikardiale Cavaanteil 3,0 cm (1,0–5,0 cm). Die perikardiale Umschlagfalte verlief – meist horizontal – nie oberhalb der Carina. Der gemittelte Abstand zur Carina betrug 0,4 cm (0,0–2,1 cm).

Zaki Aslamy und Mitarbeiter sowie Lawrence J. Caruso und Mitarbeiter führten bei Patienten Schnittbilduntersuchungen zur besseren Evaluierung der anatomischen Korrelationen durch (Aslamy et al., 1998; Caruso et al., 2002). Ihre Messungen ergaben eine gemittelte Länge der V. cava superior von 6,8 cm (4,4–10,0 cm) bzw. 6,5 cm (4,9–8,1 cm). Die Arbeitsgruppe um Caruso bestimmte auch den intraperikardialen Anteil der V. cava superior, er lag bei 3,6 cm (2,1–5,1 cm). Es konnte keine Korrelation zwischen der Gesamtlänge bzw. dem intraperikardialen Anteil der V. cava superior und dem Alter, der Körpergröße oder dem Gewicht eines Patienten ermittelt werden. Es kann also festgehalten werden, dass die Anatomie der V. cava superior sehr variabel und nicht vorhersagbar ist.

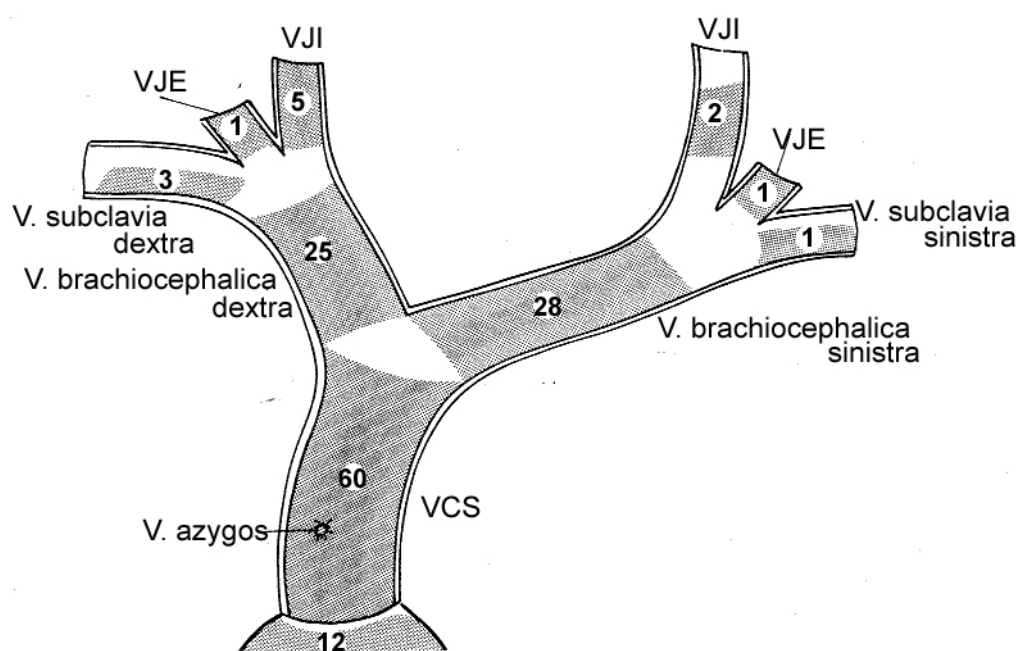
#### **4.1.2 KATHETERFUNKTION**

Aufgrund der Invasivität und Komplikationsrisiken einer zentralvenösen Katheterisierung lässt sich die Anlage eines ZVK nur rechtfertigen, wenn dessen einwandfreie Funktion gewährleistet ist. Zu einer korrekten Funktion

gehört, dass ein zentraler Venendruck valide messbar sowie ein freier Blutfluss über alle Lumina in beide Richtungen gewährleistet ist. Dies ist essentiell, um Boluseffekte durch unterschiedliche Medikamente, insbesondere durch kreislaufwirksame Katecholamine, zu verhindern und die Irritation des Gefäßendothels bei der Anwendung von potenziell toxischen Substanzen zu minimieren. Bezüglich ihrer Funktion am besten untersucht sind Dialysekatheter, die in der Regel längere Liegezeiten haben. Die besten Flussraten und die längste Funktionsfähigkeit werden erzielt, wenn diese Katheter im rechten Vorhof bzw. am Übergang V. cava superior/rechter Vorhof positioniert sind (Jean et al., 1997; Petersen et al., 1999; Mandolfo et al., 2000; Schutz et al., 2004). Diese Ergebnisse sind auch für „normale“ ZVKs bestätigt worden (Puel et al., 1993; Luciani et al., 2001; Polderman und Girbes, 2002). Wie wir zeigen konnten, ist bei der von der Firma B.Braun Melsungen AG beschriebenen EKG-Methode zur Positionierung eines ZVK dessen einwandfreie Funktion nicht zwangsläufig gegeben. Obwohl wir gegenüber dieser herkömmlichen Methode die Zielposition der Katheterspitze schon optimierten, indem wir sie an einer Stelle mit erhöhter P-Welle – dem sogenannten P-atriale – liegen ließen, mussten wir dennoch den Katheter häufig vorschieben (rechts 17%, links 84%), um einen Blutrückfluss durch alle Lumina zu gewährleisten (Schummer et al., 2003). Obwohl laut EKG korrekt positioniert konnte eine einwandfreie Funktion erst durch den Kathetervorschub gewährleistet werden.

### 4.1.3 THROMBOSE

Die Bedeutung der Position der ZVK-Spitze für die Ausbildung einer Thrombose ist schon länger bekannt, findet aber im klinischen Alltag wenig Berücksichtigung. In ihrer Studie mit 141 Autopsien bei Patienten, die einen ZVK erhalten hatten, konnten Ducatman und Mitarbeiter zeigen, dass es innerhalb von zwei Wochen im Bereich der V. cava superior bzw. der Vv. brachiocephalicae bei einem Drittel der Patienten zu einer Thrombusformation im Bereich der Katheter gekommen war. Die Untersucher schlussfolgerten, dass der Venenkatheter dabei als Fremdkörper erkannt wurde und die Thrombose eine unspezifische Antwort auf den Fremdkörper war (Ducatman et al., 1985).



**ABB 4-2 Schematische Darstellung der Thrombushäufigkeit:** Regionale absolute Häufigkeit autoptisch nachgewiesener einzelner und mehrfacher Thromben in 58 Fällen nach ZVK (Hartmann, 1979; Müller, 1981).  
**VJI:** Vena jugularis interna, **VJE:** Vena jugularis externa, **VCS:** Vena cava superior.



Eine Gefäßläsion wird als Ursache für eine ZVK-assoziierte Thrombose angesehen (Xiang et al., 1998). Es existieren drei Prädispositionsstellen: die Punktionsstelle, Kontaktstellen mit der Gefäßwand im Katheterverlauf bzw. an der Katheterspitze (Müller, 1981; Schillinger et al., 1991; Schillinger et al., 1994; Wu et al., 1999). Die Läsion entsteht entweder bereits bei der Anlage oder im Lauf der Zeit durch den Katheter selbst. An der venösen Punktionsstelle kann es durch den Gebrauch von Dilatatoren oder großkalibrigen Einführschleusen zu einer signifikanten Läsion kommen. Bei linksseitigen Zugängen können durch steife Dilatatoren oder Einführschleusen, die in Richtung auf die V. cava superior vorgeführt werden, Verletzungen besonders im Bereich des Gefäßendothels der linken V. brachiocephalica verursacht werden. Daraus kann dort eine frühzeitige Thrombusbildung resultieren (Wu et al., 1999; Otten et al., 2003; Abb. 4-2).

Eine ZVK-Spitze, die gegen die Venenwand stößt, führt zu ständigen mechanischen Irritationen (Reed et al., 1985; Xiang et al., 1998). Dies kann dazu führen, dass die Schädigung des Gefäßendothel einen möglichen Nidus für eine Thrombusentstehung darstellt. Eine Gefäßverletzung mit nachfolgender Thrombose wird häufiger bei Patienten mit linksseitigen Kathetern berichtet (Pithie et al., 1988; Puel et al., 1993; Kearns et al., 1996; Luciani et al., 2001). Dies erklärt sich durch den langstreckigen, gewundenen Verlauf eines ZVK, der über die linke V. brachiocephalica die V. cava superior erreicht. Dies kann zu zweimaligem Wandkontakt des ZVK mit der V. brachiocephalica links und der lateralen Wand der V. cava superior führen. Der Katheter selbst muss dabei weit genug eingeführt werden, um das distale Drittel der V. cava superior zu erreichen. Ansonsten besteht die Gefahr, dass er in einem kritischen Winkel

(> 40°) gegen die laterale Seitenwand der V. cava superior stößt. Die stetige Bewegung der Katheterspitze durch Herzpulsationen, Atemexkursionen bzw. Patientenbewegung kann zu Irritationen oder sogar fortschreitenden Läsionen der Gefäßwand führen und erhöht die Wahrscheinlichkeit einer Thrombose. Die Bedeutung der Position der Katheterspitze für das Auftreten von Thrombosen wurde von Puel und Mitarbeitern bei 379 Patienten untersucht, die einen Portkatheter für eine Chemotherapie erhalten hatten (Puel et al., 1993). Symptomatische Thrombosen wurden angiographisch nachgewiesen. Eine Analyse der Daten unter Berücksichtigung der Punktionsseite und der Katheterspitzenposition zeigte, dass die Thromboserate linksseitiger Katheter mit der Spitze in der oberen Hälfte der V. cava superior 28,6% betrug, während sie bei nur 3% lag, wenn die Katheter von rechts eingeführt und in der oberen Hälfte der V. cava superior positioniert worden waren. Rechtsseitige Katheter mit einer Spitzenposition in der unteren Hälfte der V. cava superior oder im rechten Vorhof zeigten eine Thromboserate von nur 1,5%. Bei linksseitigen Kathetern mit einer Spitzenposition im Bereich der unteren Hälfte der V. cava superior oder im rechten Vorhof wurden keine Thrombosen nachgewiesen (Puel et al., 1993; Kim et al., 1996).

#### **4.1.4 FREIE BEWEGLICHKEIT**

Idealerweise sollte die ZVK-Spitze im Zentrum eines Gefäßlumens von Blut umflossen sein. Dieses kann am leichtesten mit einem über die rechte Vena jugularis interna gelegten ZVK erreicht werden, da hier der weitere Verlauf zum rechten Vorhof über die Vena brachiocephalica dextra und die V. cava superior in aller Regel geradlinig ist. Bei Gefäßzugängen von der linken Seite kann ein

Schwimmen der ZVK-Spitze im Gefäßlumen – ohne Wandkontakt – nur dann erzielt werden, wenn der Katheter tief genug eingeführt wurde.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die Position der ZVK-Spitze für das Auftreten von Thrombosen von erheblicher Bedeutung ist. Das primär auslösende Ereignis ist eine Verletzung der Gefäßwand. Diese kann bereits bei Anlage des Katheters oder durch einen fehlliegenden und dadurch irritierenden Katheter entstehen. Eine optimale Katheterlage hingegen kann die durch die Katheterspitze ausgelösten Verletzungen minimieren. Zur Vermeidung von Gefäßwandläsionen ist es wichtig, dass der Katheter parallel zur Wand der V. cava superior verläuft und die Katheterspitze sich frei im Gefäßlumen bewegt ohne dabei anzustoßen.

#### **4.1.5 PERFORATION**

Von der Annahme ausgehend, dass nur Vorhof- oder Ventrikelperforationen zu einer Perikardtamponade führen können, empfiehlt die US-amerikanische Food and Drug Administration in ihren Leitlinien die ZVK-Spitze außerhalb der „Herzsilhouette“ zu positionieren (Food and Drug Administration, 1989). Diese Empfehlung enthält aber keine genauere Angabe über die angestrebte Katheterspitzenposition und lässt ferner folgende anatomische und radiologische Gegebenheiten außer Acht:

1. Das Perikard endet nicht mit dem Vorhofeingang, sondern überzieht die großen Gefäße in einem variablen Abstand von drei bis sechs Zentimetern oberhalb des Vorhofeingangs. Daher können auch Perforationen der V. cava

superior unterhalb der perikardialen Umschlagfalte zu einer Perikardtamponade führen.

2. Die kraniale Grenze des Perikards, also die perikardiale Umschlagfalte, ist im konventionellen Röntgenbild nicht sichtbar.

Allerdings gehen auch Gefäßperforationen oberhalb der perikardialen Umschlagfalte mit einer erheblichen Morbidität einher. Eine Literaturübersicht zeigt, dass eine Gefäßerosion oder -perforation bei jeder Spitzenposition auftreten kann und dass nicht eine Position grundsätzlich sicherer ist als eine andere (Rutherford et al., 1994). Perforationen können entweder bereits durch die Anlage des ZVK verursacht werden oder sekundär entstehen. Robinson und Mitarbeiter untersuchten retrospektiv 4200 ZVK-Anlagen bezüglich Perforationen großer Gefäße (Robinson et al., 1995). Zehn Patienten erlitten diese Komplikation, was einer Inzidenz für dieses Ereignis von 0,25% entspricht. In den meisten Fällen lag ein technisches Problem während der Katheteranlage vor. Die Perforationen waren bei allen Patienten innerhalb von 24 Stunden, meist bereits zwei bis vier Stunden nach der Katheteranlage diagnostiziert worden (Robinson et al., 1995). Früh auftretende Perforationen nach ZVK-Anlage sind auf eine fehlerhafte Punktionstechnik wie z. B. unsachgemäße Handhabung von Seldinger Draht und Dilatator zurückzuführen (Porter et al., 1997; Schummer et al., 2002b; Rufener et al., 2003). Spätperforationen gelten als Folge von durch die ZVK-Spitze verursachten Gefäßwandläsionen (Czepizak et al., 1995).

Alle vergleichend durchgeführten Studien weisen auf ein höheres Risiko für eine primäre und sekundäre Perforation durch linksseitige Katheter hin. In einer retrospektiven Analyse von mehr als 1000 ZVK-Anlagen fanden Mukau und Mitarbeiter vier Patienten mit einer durch einen ZVK verursachten Perforation der V. cava superior (Mukau et al., 1991). Es handelte sich ausschließlich um linksseitige Katheter. Die Zeitdauer bis zum Auftreten klinischer Symptome betrug im Durchschnitt fünf Tage. Tocino und Watanabe berichten über neun Patienten mit durch ZVKs verursachten Perforationen der V. cava superior (Tocino und Watanabe, 1986). Acht dieser neun Patienten hatten linksseitige Katheter. Vergleichbares wurde von Duntley und Mitarbeitern über acht Patienten berichtet, die durch ZVKs verursachte Perforationen erlitten hatten (Duntley et al., 1992). Sieben dieser ZVKs waren linksseitig, und bei sechs Patienten wiesen die ZVKs einen Winkel von 45° gegenüber der rechten Lateralwand der V. cava superior auf. Die klinische Symptomatik entwickelte sich über etwa drei Tage.

Katheter, die korrekt über die rechte V. jugularis interna platziert werden, nehmen einen geraden Verlauf zum rechten Vorhof. Alle anderen müssen in ihrem Verlauf entlang der großen Venen mindestens eine 90°-Kurve passieren. Bei zu geringer Einführtiefe ist die ZVK-Spitze dazu prädestiniert, an die Wand der V. cava superior anzustoßen. Durch fortwährende Bewegungen (Herzschlag, Atmung, Patient) kann die Katheterspitze die Gefäßwand mechanisch beanspruchen und unter Umständen in Folge arrodieren oder gar perforieren. Deshalb erscheint es sicherer, die ZVK-Spitze in das distale Drittel der V. cava superior zu positionieren, da die Katheter dann in der Regel auch parallel zur Gefäßwand der V. cava superior zu liegen kommen (Peres, 1990).

Unabhängig vom Kathetermaterial bzw. der Rigidität der Katheter kann jeder ZVK, der mit seiner Spitze gegen die Gefäßwand positioniert ist, zu einer Gefäßläsion mit nachfolgender Perforation führen.

#### **4.1.6 POSITIONSÄNDERUNG AUFGRUND VON KÖRPERBEWEGUNG**

Aus radiologischen Untersuchungen ist bekannt, dass ein ZVK seine Position verändert, wenn der Patient seine Körperlage ändert (Kowalski et al., 1997; Vesely, 2003; Galloway und Bodenham, 2004; Teichgraber et al., 2004). Die Richtung und das Ausmaß der Katheterbewegung ist von einigen Variablen wie z.B. vom Kathetertyp, von der Punktionsstelle und vom Habitus des Patienten abhängig. Dieses muss bei der Insertion von Jugularis- und Subclavia-ZVKs berücksichtigt werden. In Kopftieflage (z.B. bei Trendelenburglagerung während der Katheteranlage) werden die mediastinalen Strukturen einschließlich der zentralen Venen durch das auf das Zwerchfell drückende abdominelle Kompartiment komprimiert. Wenn der Patient in die Horizontale zurückgelagert wird, verringert sich der Druck des abdominellen Kompartiments. Zentrale Venen, wie auch der rechte Vorhof, können sich dabei ausdehnen. Ist der ZVK an der Haut durch eine Naht fixiert, führt diese relative Längenausdehnung der mediastinalen Strukturen zu einer Veränderung der Position der ZVK-Spitze in Bezug auf die V. cava superior bzw. den rechten Vorhof. Weiter verstärkt wird dieser Effekt, wenn sich der Patient aus der Horizontalen in die Vertikale begibt. Dies führt zu einer Bewegung der ZVK-Spitze nach kranial. Ein korrekt platzierter ZVK kann sich in einer Größenordnung von zwei bis drei Zentimetern zwischen V. cava superior und rechtem Vorhof bewegen. Die besondere Problematik bei Armvenenkathetern haben wir hier bewusst ausgeklammert, da

solche Katheter in unseren Studien keine Verwendung fanden (Forauer und Alonzo, 2000; Hacking et al., 2003). In unseren Studien waren alle Patienten beatmet, die Punktion fand in Kopftieflage statt. Um lagerungsbedingte Einflüsse auf die Positionierung auszuschließen, erfolgte die EKG-gestützte Positionierung in Horizontallagerung. In dieser Position wurden die Katheter auch angenäht.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die Position der Katheterspitze nicht fix ist, sondern sich durchaus in Abhängigkeit von Lageänderungen des Patienten im Gefäß um mehrere Zentimeter verändern kann. Es ist daher wichtig, bereits bei der ZVK-Anlage die Richtung und den Umfang der auf den Katheter einwirkenden Variablen zu verstehen und entsprechend zu berücksichtigen.

#### **4.1.7 ARRHYTHMIE**

Eine nicht zu unterschätzende Gefahr zentralvenöser Katheter besteht in ihrem Potenzial, Arrhythmien auszulösen (Hacking et al., 2003). Die häufigste Ursache für Arrhythmien bei der ZVK-Anlage ist das Verschieben des Führungsdrahtes bzw. Katheters tief in den rechten Vorhof oder Ventrikel (Merry et al., 1999). Dies wurde für die „over-insertion of guidewire“-Technik sogar als diagnostisches Kriterium eingesetzt (Sunder-Plassmann et al., 1996; Muhm et al., 1997).

Bei zwei Untersuchungen zur EKG-gestützten Lagekontrolle fand sich eine Arrhythmieinzidenz von 40% (Hansen et al., 1998; Marouche et al., 1998). Draht-oder katheterinduzierte Herzrhythmusstörungen sind in der Regel selbstlimitierend, können jedoch bei kardial eingeschränkten Patienten letal sein

(z.B. kritische Aortenstenose) (Royster et al., 1985; Eissa und Kvetan, 1990; Stuart et al., 1990; Unnikrishnan et al., 2003; Mackay und Arrowsmith, 2004). Insbesondere bei kardiochirurgischen Patienten gilt es, Rhythmusstörungen zu vermeiden (Sprung et al., 1989). In der von uns beschriebenen Technik der ZVK-Positionierung am Übergang der V. cava superior zum rechten Vorhof sind klinisch bedeutsame Arrhythmien nahezu ausgeschlossen.

#### **4.1.8 ANGESTREBTE POSITION DER ZVK- SPITZE**

Unter den Aspekten Katheterfunktion, Thrombose und Perforation gilt für zentrale Venenkatheter, die über die rechte V. jugularis interna gelegt werden, dass sie überall in der V. cava superior positioniert sein können. Katheter, die über andere obere Körpervenen – nicht Armvenen – eingeführt werden, sollten aufgrund der dargelegten Gesichtspunkte mit ihrer Spitze in der distalen V. cava superior am Übergang zum rechten Vorhof liegen.

Für die Platzierung sind unterschiedliche Methoden der Lagekontrolle vorgeschlagen worden. Für sich allein genommen bietet allerdings kein Verfahren 100-prozentige Sicherheit.

#### **4.2 LAGEKONTROLLE AN HAND VON FORMELN**

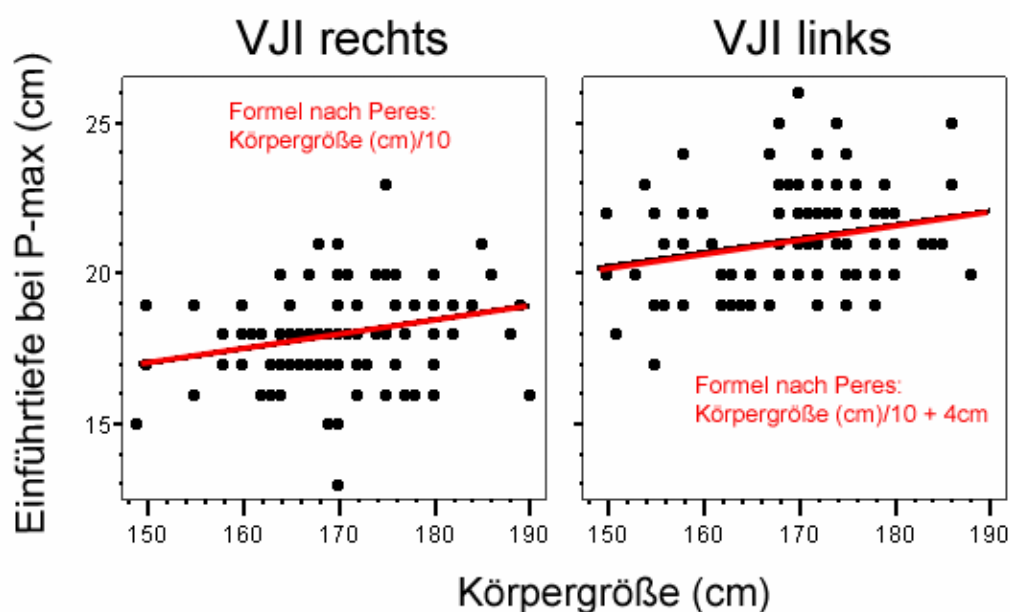
Formeln können nur einen groben Anhaltspunkte für die Einführtiefe von ZVKs bieten (Czepizak et al., 1995). Als Beispiel seien hier die Formeln von Peres angeführt (Peres, 1990; Tab. 4-1). Wir verglichen bei 200 Patienten die Korrelation der berechneten Einführtiefe nach Peres mit der optimalen Einführtiefe (ZVK-Spitze am Übergang V. cava superior zum rechten Vorhof)



(Schummer et al., 2005c) Hierbei war der Punktionsort standardisiert und die Lage der Katheterspitze exakt definiert. Wir konnten keine Korrelation zwischen Einführtiefe und Körpergröße feststellen (Abb. 4-3).

Zugangsweg	Formel
Vena subclavia rechts	$(\text{Körpergröße}/10) - 2$
Vena subclavia links	$(\text{Körpergröße}/10) + 2$
Vena jugularis interna rechts	$(\text{Körpergröße}/10)$
Vena jugularis interna links	$(\text{Körpergröße}/10) + 4$

**TAB 4-1 Formeln von Peres:** Die Formeln für die Einführtiefe zentraler Venenkatheter variieren je nach Zugangsweg (Peres, 1990).



**ABB 4-3 Vergleich der Formeln von Peres mit unseren Messergebnissen:** Gezeigt wird die interindividuelle Schwankungsbreite. Die schwarzen Rhomben stehen für die gemessene Einführtiefe bei P-max, also der Katheterspitze am Übergang V. cava superior/rechter Vorhof. Die rote Linie steht für die errechnete Einführtiefe nach der Formel von Peres.

**P-max:** maximaler Anstieg der P-Wellen Amplitude, **VJI:** Vena jugularis interna.

In den Formeln wurde lediglich die Körpergröße berücksichtigt. Die Formeln galten für die jeweils punktierte Vene, wobei der genaue Zugangsweg aber

nicht exakt definiert war. Allein für die V. jugularis interna sind mehr als 20 verschiedene Zugangswege beschrieben. Bei einer groben Einteilung in hohe, mittlere oder tiefe Zugänge kann der Abstand zwischen den möglichen Zugangsorten also durchaus mehr als zehn Zentimeter betragen. In diesen Studien sollte die Katheterspitze in der V. cava superior liegen, allerdings wurden auch Positionen in der V. brachiocephalica akzeptiert. Zur Validierung der ZVK-Position wurden Thorax-Röntgen-Aufnahmen angefertigt. Dies ist, wie nachfolgend näher ausgeführt werden wird, ungenau. In keiner Studie wurde auf eventuelle Winkelbildungen geachtet. Die von Peres entwickelten Formeln können also die Einführtiefe nicht mit der nötigen Genauigkeit bestimmen. Sie geben außerdem keine verlässlichen Informationen über die Lage zur perikardialen Umschlagfalte (ober,- oder unterhalb). Eine Vorhoflage oder eine Winkelbildung lassen sich also damit nicht sicher ausschließen. Die Formeln liefern somit nur einen groben Anhaltspunkt und können demzufolge auch die Komplikationsrate nicht senken.

### **4.3 KLINISCHE FUNKTIONSPROBEN**

Ein Ziel klinischer Funktionsproben ist der Nachweis einer intravenösen Katheterlage. Häufig wird dabei geprüft, ob leichtgängiges Aspirieren von venösem Blut durch alle Lumina möglich ist. Leider schließt dies aber intrapleurale und intraperikardiale sowie intraarterielle Fehllagen nicht sicher aus (Maxeiner, 1991; Brister und Barnette, 1992; Kollef, 1994; Schulz et al., 1999; Losert et al., 2000; Klockgether-Radke und Gaus, 2004). Das Spektrum der klinischen Funktionsproben reicht weiter vom passiven Rückfluss und von atemsynchronen Schwankungen der Flüssigkeitssäule (Busse et al., 1974;

Welter et al., 1981) über eine so genannte „over-insertion of guidewire“-Technik mit dadurch ausgelösten Arrhythmien (Sunder-Plassmann et al., 1996; Muhm et al., 1997) zur vergleichenden Blutgasanalyse (Busse, 1990; Agee und Balk, 1992; Reid et al., 1995; Muhm et al., 1997; Ho et al., 2000). Die „over-insertion of guidewire“-Technik mag bei gesunden Patienten vertretbar sein. Kardiozirkulatorisch kompromitierte Patienten, wie etwa solche mit frischer Myokardischämie, hochgradiger Aortenstenose oder vorbestehendem Linksschenkelblock sind bei Anwendung dieser Technik gefährdet, denn hier ist mit schwerwiegenden Arrhythmien bzw. einem AV-Block III. Grades zu rechnen.

Die vergleichende Blutgasanalyse zur Verifikation einer venösen Punktion kann bei gleichseitiger AV-Fistel zur Dialyse bzw. bei einer fehlmündenden Lungenvene versagen (Townley, 2003). Außerdem ist sie zeit-, material- und kostenaufwendig.

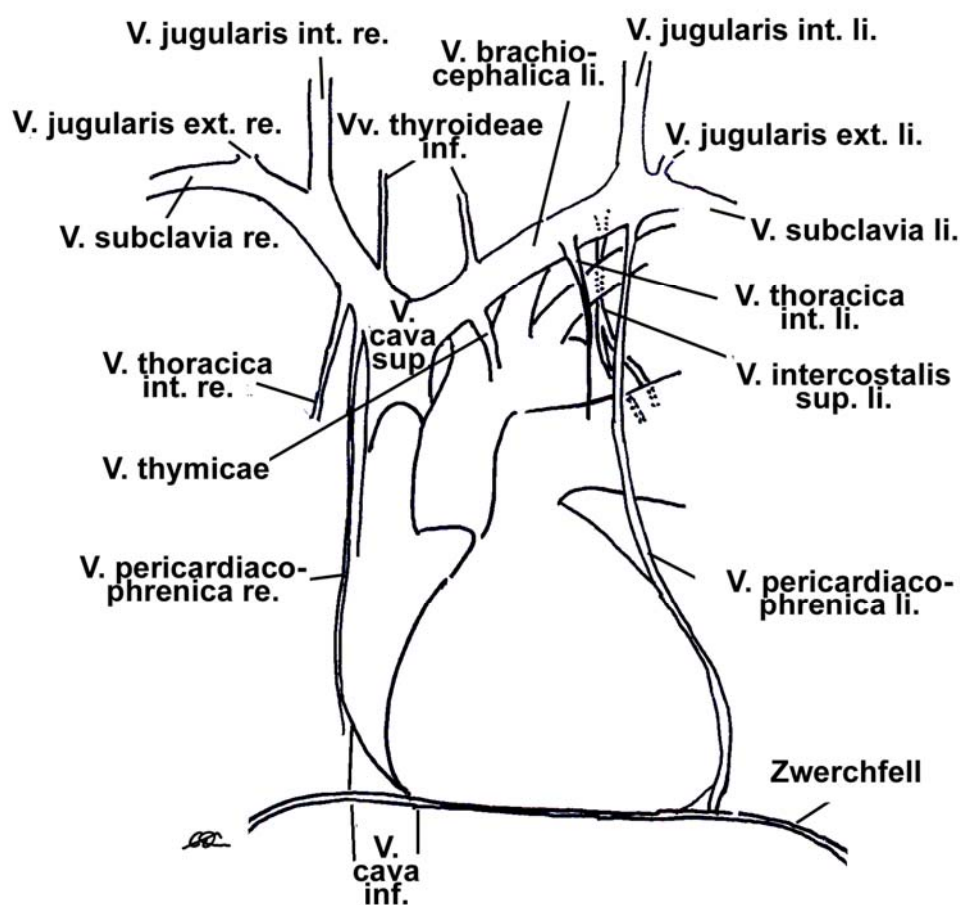
Es bleibt festzuhalten, dass die ZVK-Lagekontrolle allein mit klinischen Methoden unzuverlässig ist.

#### **4.4 RADIOLOGISCHE LAGEKONTROLLE**

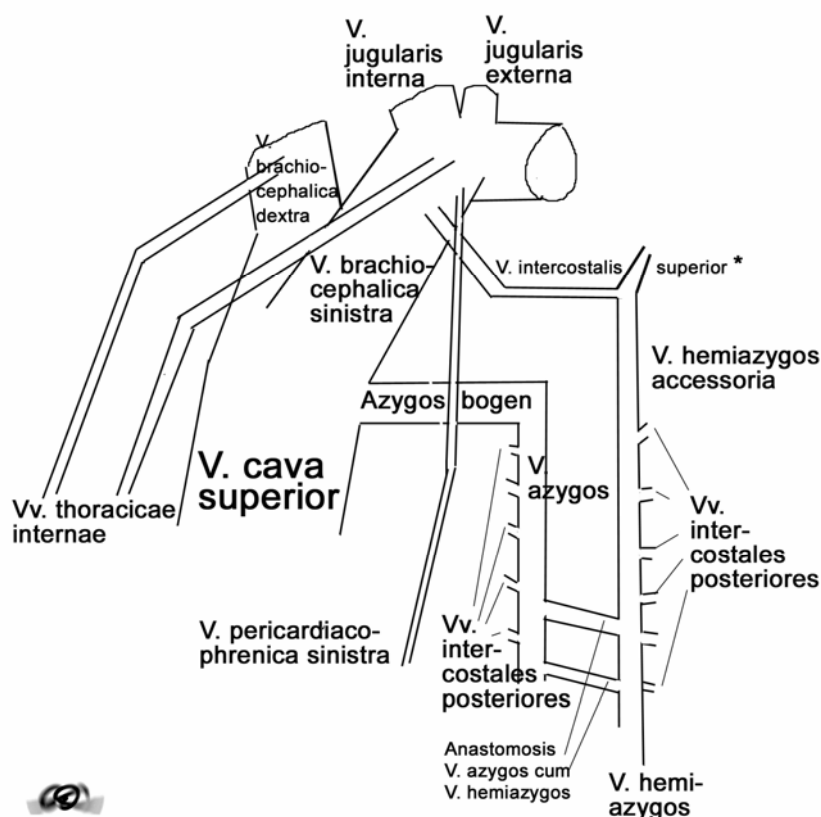
Röntgenaufnahmen des Thorax werden häufig routinemäßig zur Beurteilung der Position zentraler Venenkatheter und zum Ausschluss von Komplikationen angefertigt (Busch und Georgi, 1991; Bankier et al., 1996; Bjarnason und Lehman, 1997). Bei der röntgenologischen Lagekontrolle ist darauf zu achten, dass der Katheter immer in seinem gesamten intrathorakalen Verlauf dargestellt wird. Die meisten Katheterfehlagen – die Inzidenz wird mit 2,5 bis 29%

angegeben – sind auf einer anterior-posterioren (AP)-Aufnahme sichtbar, auch ein Katheterbruch mit konsekutiver Katheterembolisation oder Drahtfragmente sind nachweisbar (Bjarnason und Lehman, 1997).

Die zentralen Venen sind im Normalfall ein primär rechts-dominantes System mit der V. cava superior als zentraler Struktur. Mit Ausnahme der V. azygos sind alle anderen thorakalen Venen, wie die Vv. subclaviae, Vv. jugulares, Vv. brachiocephalicae oder die kleinen Venen (z.B. Vv. intercostales, Vv. pericardiacophrenicae und Vv. thoracica interna), paarig angelegt (vgl. Abb. 4-4 und 4-5; Godwin und Chen, 1986; Gray, 2005).



**ABB. 4-4** Schematische Darstellung der Anatomie thorakaler Venen. *Re* rechts, *li* links (Schummer und Schummer, 2001).



**ABB 4-5 Schematische Darstellung der Anatomie der Vena cava superior und ihrer Zuflüsse in Seitenansicht** (Schummer und Schummer, 2002).

ZVK-Fehllagen wurden für alle diese kleinen Venen beschrieben (Dunbar et al., 1981; Larsen und Rieke, 1981; Webb et al., 1986; van Haeften et al., 1988; Zaman et al., 1990). Differenzialdiagnosen der radiologisch im AP-Strahlengang links der Wirbelsäule gelegenen Venenkatheter sind eine persistierende linke obere Hohlvene, die Fehllage in der Aorta descendens sowie die Fehllage in kleinen linksseitigen thorakalen Venen (Slany und Karnik, 1994). Bei Fehllagen in kleinen Venen oder extravasal im Mediastinum, Perikard und Pleura ist zum Beweis eine Röntgenaufnahme des Thorax im lateralen Strahlengang, sicherheitshalber mit Kontrastmittel, notwendig. Hier ist dann der Kontrastmittelabfluss in den rechten Vorhof als sicheres Indiz einer intravasalen Lage zu sehen. Darüberhinaus sind fast alle Fehllagen erkennbar. Auch die Aussage

über einen extravasalen Kontrastmittel-Austritt ist möglich. Im Zweifelsfall kann die Katheterspitze auch mittels Durchleuchtung und Kontrastmittelanwendung sichtbar gemacht werden.

In der Seitenaufnahme verläuft die V. thoracica interna retrosternal; die V. intercostalis posterior superior verläuft nach posterior. Die V. pericardiophrenica projiziert sich, genauso wie eine persistierende linke obere Hohlvene, auf das mittlere Mediastinum. In der AP-Thoraxaufnahme verläuft die linke V. pericardiophrenica in charakteristischer Weise entlang der lateralen Herzsilhouette (siehe Abb. 4-4). Fehllagen in diesen kleinen Venen erfordern das Entfernen des Katheters und die Neuanlage.

Mögliche radiologisch sichtbare Komplikationen zentralvenöser Katheter sind der Pneumothorax durch Verletzung der Pleura, der Hydro- bzw. der Hämatothorax durch Perforation zentraler Venen und die Perikardtamponade. Radiologische Kontrollen sollten aber auch nach erfolgloser zentralvenöser Punktion durchgeführt werden, um Komplikationen wie Pneumothorax oder größere Weichteilhämatome auszuschließen. Allerdings muss eine früh angefertigte Röntgenaufnahme einen sich langsam entwickelnden Pneumothorax noch nicht zur Darstellung bringen.

Die Bilddokumentation der Lage des ZVK ist aus medizinischen und medikolegalen Gründen von Vorteil. Lageveränderungen des Katheters im zeitlichen Verlauf lassen sich nur so dokumentieren.

In einer AP-Aufnahme werden folgende Projektionen der Katheterspitze als korrekt angesehen:

- zwischen den sternalen Ansätzen der ersten bis dritten Rippe rechts (Busch und Georgi, 1991; Bankier et al., 1996; Hobbs und Mahajan, 2000; Reiser et al., 2004),
- im ersten anterioren Intercostalraum (Vail und Ravin, 1992),
- zwischen dem fünften und achten Brustwirbelkörper (Defalque und Campbell, 1979),
- unterhalb der Untergrenze der Schlüsselbeine, da diese mit dem Beginn der V. cava superior übereinstimmt (Greenall et al., 1975).

Zur Identifikation und Definition der kranialen und kaudalen Begrenzungen der V. cava superior werden unterschiedliche radiologische Orientierungspunkte angegeben. Die Grenzen der V. cava superior und des Übergangs V. cava superior/rechter Vorhof sind radiologisch allerdings nicht sicher abgrenzbar (Aslamy et al., 1998). Die oben vorgestellten Skelett-Strukturen befinden sich nämlich nicht in einer anatomischen Ebene mit der V. cava superior (Aslamy et al., 1998). Daher kann die Orientierung an Skelett-Strukturen auf Grund des Parallaxe-Effekts zu erheblichen Fehleinschätzungen der Position der ZVK-Spitze führen. Um den Parallaxe-Effekt zu minimieren, ist daher eine Orientierung an radiologisch erkennbaren anatomischen Strukturen, die sich in unmittelbarer Nachbarschaft zur V. cava superior befinden, vorzuziehen. Rutherford und Mitarbeiter zeigten eine Übereinstimmung der kranialen Begrenzung der V. cava superior mit dem Winkel zwischen Trachea und rechtem Hauptbronchus (Rutherford et al., 1994). Dieser Winkel ist

normalerweise auf einer konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme gut erkennbar. Der rechte tracheobronchiale Winkel stellt daher eine geeignete radiologische Struktur zur Bestimmung der Katheterlage dar.

Die Grenze V. cava superior/rechter Vorhof ist anhand radiologischer Strukturen nicht sicher zu bestimmen. Auf einer AP-Aufnahme bildet die rechte Lateralwand der V. cava superior die rechte Begrenzung des Mediastinums. Kaudal wird die rechts-laterale Grenze durch den rechten Vorhof definiert (Abb. 4-1). Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass auf einem Röntgenbild die Grenze zwischen der V. cava superior und dem rechten Vorhof durch den Schnittpunkt dieser beiden Strukturen abgebildet wird. Diese Annahme wurde durch eine MRT-Studie von Aslamy und Mitarbeitern in Frage gestellt. Sie evaluierten die V. cava superior von 42 Patienten. In dieser Untersuchung lag der Median der V. cava superior-Länge, vergleichbar unserer Studie, bei 6,8 cm (Spannbreite 4,4–10,0 cm). Eine Kernaussage aus Aslamys MRT-Studie zur zentralvenösen Anatomie ist, dass der Schnittpunkt der V. cava superior mit der kranialen Begrenzung des Herzens kein verlässlicher radiologischer Orientierungspunkt für die Grenze zwischen V. cava superior und rechtem Vorhof ist (Aslamy et al., 1998). Bei 38% der Patienten wurde die kraniale Begrenzung des rechten Herzschattens durch die laterale Grenze des linken und nicht des rechten Vorhofs gebildet. Bei diesen Patienten befand sich die tatsächliche anatomische Grenze V. cava superior/rechter Vorhof im Median 1,0 cm (Spannbreite 0,5–4,5 cm) kaudal der rechten oberen Herzgrenze. Somit kann eine ZVK-Spitze, die innerhalb der Herzsilhouette liegt, als im rechten Vorhof liegend befundet werden, obwohl sie sich tatsächlich in der V. cava superior vor dem Vorhof-Eingang befindet. Die Gruppe um Aslamy konnte



außerdem zeigen, dass Katheter immer außerhalb des Vorhofs liegen, wenn sie maximal 2,9 cm unterhalb des rechten Tracheobronchialwinkels enden (Aslamy et al., 1998).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es verschiedene Ansätze zur Beurteilung der Lage der ZVK-Spitze anhand konventioneller Übersichtsaufnahmen gibt. Der rechte tracheobronchiale Winkel ist wohl die beste radiologische Struktur, um Missinterpretationen durch Parallaxe-Effekte zu reduzieren.

Abgesehen von den eben erwähnten Interpretationsproblemen haben bildgebende Verfahren wie die Durchleuchtung mittels Bildwandler oder die Anfertigung einer Röntgenaufnahme noch weitere Nachteile. Neben der Strahlenbelastung sind sie mit erheblichem technischen und personellen Aufwand verbunden, was unter Operationsbedingungen in aller Regel nur bei ganz speziellen Fragestellungen zu rechtfertigen ist.

Außerdem können sie erst zeitversetzt nach dem Legen des Katheters erfolgen, so dass dann eine Lagekorrektur aus hygienischen Gründen nur noch durch Zurückziehen des ZVK möglich ist.

Darüber hinaus lässt sich sagen, dass die alleinige AP-Aufnahme keine 100%ige Sicherheit bei der Positionskontrolle bietet und außerdem verhältnismäßig teuer und aufwändig ist. Insbesondere die Differenzierung einer Vorhoflage ist nicht eindeutig. Alle Schlussfolgerungen von Studien, die die Katheterposition allein mit AP-Röntgenaufnahmen evaluiert haben, müssen daher zumindest für die Beurteilung der Übergangszone V. cava superior/rechter Vorhof in Zweifel gezogen werden.

## 4.5 LAGEKONTROLLE MIT HILFE DER TRANSÖSOPHAGEALEN ECHOKARDIOGRAPHIE

Die moderne TEE ist ein bildgebendes semiinvasives Ultraschallverfahren, das bereits kurz nach seiner klinischen Einführung Anfang der 1980er Jahre Einzug in den Anästhesie- und Intensivbereich gehalten hat. Die TEE liefert aufgrund der Sondenplatzierung nahe am Herzen eine räumliche und zeitliche Auflösung kardialer Strukturen und von deren Bewegungsabläufen. Die hohe Sensitivität der Methode sowie die zahlreichen Möglichkeiten zur Erfassung morphologischer und funktionsdiagnostischer Parameter bei geringem Risiko für den Patienten begründen den Einsatz der TEE als Standardverfahren für die perioperative Überwachung. Der Schwerpunkt des intraoperativen TEE-Einsatzes liegt derzeit allerdings noch bei kardiochirurgischen Eingriffen. Sie wird in unserer Klinik, unter Berücksichtigung der Kontraindikationen, bei jedem kardiochirurgischen Eingriff routinemäßig eingesetzt, denn die TEE liefert bei 27% der kardiochirurgischen Patienten wesentliche Entscheidungshilfen im Hinblick auf das chirurgische Vorgehen, bei Eingriffen an der Mitralklappe sogar in 41% der Fälle (Sheikh et al., 1990). Ursachen für perioperative kardiovaskuläre Probleme werden rasch und ohne Interferenz mit chirurgischen Maßnahmen diagnostiziert. Die differentialdiagnostische Abklärung der akuten hämodynamischen Instabilität ist rasch möglich. Über diese Anwendung hinaus kommt die TEE zunehmend auch für andere Indikationen zum Einsatz (Burns et al., 2005). In einer von uns vorgenommenen PubMed-Recherche mit den Suchbegriffen „transesophageal echocardiography and central venous catheter“ kam es zur Nennung von 81 Textstellen. Die Verteilung der Indikationen ist in Tabelle 4-2 abzulesen. Die unter der Rubrik „Andere“ genannten Textstellen

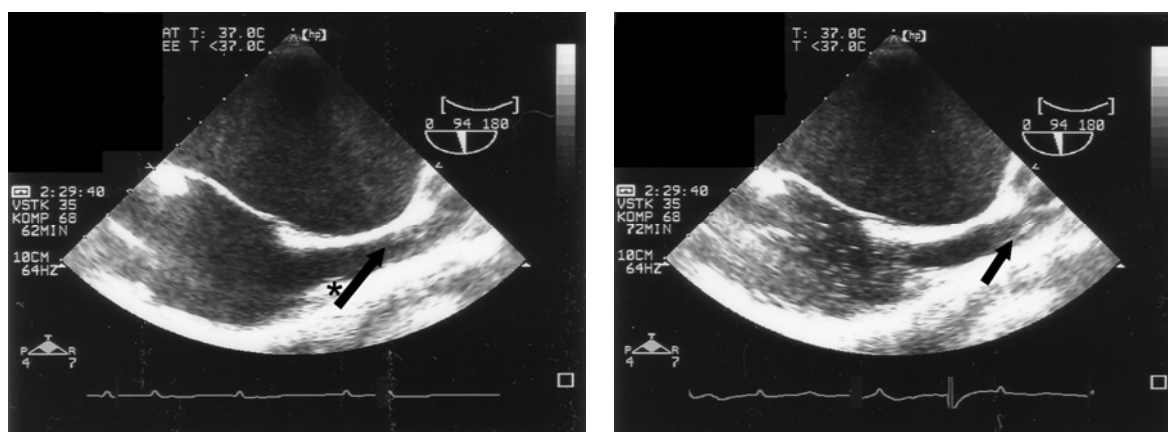
beziehen sich im wesentlichen auf das perioperative TEE-Monitoring, aber zum Beispiel auch auf die Platzierung der bicavalen Kanülen für die Entlastung des Herzens an der Herz-Lungen-Maschine bei einem Patienten mit einem Tumor im rechten Vorhof.

Indikation	Anzahl der Nennungen
Diagnostik und z.T. Verlauf von Thrombosen/Thromben der großen Venen und/oder des rechten Vorhofs	24
ZVK-Lagekontrolle	12
Anatomie wie z.B. linke persistierende obere Hohlvene	4
Diagnostik von Tumoren im rechten Vorhof	2
Diagnostik eines offenen Foramen ovale	2
Andere	37

**TAB 4-2 Recherche:** Anzahl der Nennungen der Recherche in der *National library of medicine* mit den Schlagworten „transesophageal echocardiography“ und „central venous catheter“ (Juli 2005).  
**ZVK:** zentraler Venenkatheter.

Die ersten Publikationen zur Lagekontrolle zentralvenöser Katheter stammen von der Arbeitsgruppe um Andropoulos (Andropoulos et al., 1999). Im bicavalen Blick lassen sich die ZVK-Spitzen in aller Regel als zwei parallele echodichte Strukturen darstellen, die das dunklere, flüssigkeitsgefüllte Lumen begrenzen. Das distale Ende des ZVK kann durch rasches Einspritzen einer echo-kontrastierenden Kochsalzlösung bzw. wie bei unserem Vorgehen durch die Injektion eines zur perioperativen Prophylaxe eingesetzten Antibiotikums eindeutig dargestellt werden. Voraussetzung zur sicheren Visualisierung der Katheterspitze ist jedoch, dass sie unterhalb der Mündung der V. azygos positioniert ist. Durch die modernen multiplanen Sonden ist es heute eigentlich immer möglich, den rechten Vorhof, die V. cava superior und den ZVK in mehreren Schnittebenen darzustellen, ohne die Sondenposition verändern zu müssen. Nigel Reynolds und Mitarbeiter verglichen die Position der ZVK-

Spitzen im TEE mit Befunden konventioneller AP-Röntgenbilder (Reynolds et al., 2001). Lediglich in zwei von neun untersuchten Patienten entsprachen die Befunde der Röntgenbilder denen der TEE-Ergebnisse. In der TEE waren alle neun ZVK eindeutig zu sehen. Warum die Beurteilung der Röntgenbilder zu so unterschiedlichen Ergebnissen führte, wurde bereits in Kapitel 4.4 erläutert. Mittlerweile wird die TEE auch zur kontrollierten Platzierung einer Jugularis-interna-Bypass-Kanüle (18 French) für den venovenösen Bypass bei orthotopen Lebertransplantationen mit Erfolg eingesetzt (Planinsic et al., 2003).



**ABB 4-6 Transösophageale Echokardiographie:** Identifizierung der Katheterspitze als Doppelstruktur (links) und mittels Kontrastmittelaustritt (rechts).  
 ↗: Katheterspitze, \* Basis der Crista terminalis

Zur Beurteilung der Katheterspitzenposition gilt die TEE aufgrund der exakten Abbildung der Anatomie des rechten Vorhofs sowie der V. cava superior und V. cava inferior für wissenschaftliche Zwecke als Goldstandard. Wenn ein TEE im Einsatz ist, sollte es daher nicht verabsäumt werden, die Verifizierung einer ZVK-Position damit auch durchzuführen.

## **4.5 KATHETERPOSITIONIERUNG MIT HILFE DER EKG-METHODE**

In kardiologischen Arbeiten der 1960er Jahre wurden Atriogramme des rechten menschlichen Vorhofs publiziert, die typische EKG-Ableitungen definierten Positionen im rechten Vorhof zuordneten (Sterz, 1960). Das methodische Vorgehen ist nur unzulänglich beschrieben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichungen gab es lediglich das Röntgen und die Durchleuchtung als Kontrollmethoden. Wie bereits diskutiert, sind diese Verfahren nicht in der Lage, den rechten Vorhof genau abzugrenzen.

Diese Arbeiten lassen folgende sichere Schlussfolgerungen zu: Erstens, das intravasale EKG verändert sich beim Vorschub in den rechten Vorhof in typischer, reproduzierbarer Weise und zweitens, die Form der EKG-Kurve ist dabei einerseits abhängig von der gewählten Ableitungsform, andererseits von der Position der ableitenden Elektroden.

Eine bestimmte Kurvenform wurde allerdings einem definierten anatomischen Korrelat zugeordnet, ohne wirklich validiert zu werden. Trotzdem fanden diese Vorstellungen Einzug in die klinische Praxis, indem sie als Grundlage für die EKG-gestützte Katheterpositionierung dienten.

Es wurden mehrere Studien durchgeführt, um die Zuverlässigkeit der EKG-Methode nachzuweisen. Die gewünschte Position der Katheterspitze war die V. cava superior, deren Länge beim Erwachsenen sehr variabel ist (s. Kapitel 4.1.1). Um die Zielposition zu erreichen, wurden die Katheter - je nach Studie - bei erhöhter P-Wellen-Amplitude platziert, oder sie wurden ein bis drei Zentimeter über die Normalisierung der P-Wellen-Amplitude hinaus wieder zurückgezogen. Der Terminus P-atriale wird mannigfach verwendet und ist

bislang nicht exakt definiert: deutlich erhöht, mehrfach erhöht, oder gar biphasisch. Die einzelnen Autoren sind zudem recht unterschiedlich mit der Zuordnung der charakteristischen P-Wellen umgegangen. Wilson etwa behauptete, dass sich der Katheter am Sinusknoten befindet, wenn die P-Welle (Einthoven II) biphasisch ist (Wilson und Gaer, 1988), eine erhöhte P-Welle ordnete er der V. cava superior zu. Alle Katheter, platziert an erhöhtem P, lagen radiologisch in der V. cava superior. Andere gingen davon aus, dass eine Amplitudenerhöhung der P-Welle nur bei intravasaler Lage und in unmittelbarer Nähe der Herzvorhofwand auftritt (März et al., 1984; Hansen et al., 1998). Hufnagl behauptete 1976, Katheter genau auf die Grenze zwischen Vorhof und V. cava superior platzieren zu können: „Die für den jeweiligen Abschnitt des rechten Vorhofes charakteristischen atrialen Potentiale erlauben eine exakte Lokalisationsdiagnostik.“ Wie viele Katheter er nach dieser Methode über Arm- bzw. Halsvenen legte, teilte er jedoch nicht mit. Eine radiologische Lagekontrolle hielt er für zudem für unnötig (Hufnagl, 1976).

In den meisten Publikationen mit dem Thema EKG-gestützte ZVK-Platzierung werden keine Angaben zum verwendeten Zugangsweg bzw. der Zugangsseite gemacht. In Arbeiten, die eine differenzierte Aussage machen, sind insgesamt nur 648 Patienten erfasst, bei denen die V. subclavia, V. jugularis interna und externa als Zugangswege beschrieben sind. Das Verhältnis von rechts- zu linksseitigen Punktionsorten betrug 5:1! Michaelis und Mitarbeiter kontrollierten die ZVK-Position radiologisch, wobei als Zielkriterium lediglich eine zentrale Position erreicht werden musste. Angaben über eventuelle Winkelbildungen fehlten, hier lag ein Übergewicht von 7:1 zugunsten der rechten Seite vor (Michaelis et al., 1988). Die Arbeitsgruppe um Koscielniak-Nielsen kontrollierte

die ZVK-Position ebenfalls radiologisch, wobei eine Spitzenposition in der V. cava superior oder am Übergang zum rechten Vorhof angestrebt war. Angaben zu eventuellen Winkelbildungen fehlten hier allerdings ebenfalls. Es wurde fast ausschließlich die V. subclavia punktiert, und das Verhältnis rechts zu links betrug etwa 4:1 (Koscielniak-Nielsen et al., 1991). Salmela und Aromaa haben 350 ZVKs EKG-gestützt gelegt und radiologisch nachkontrolliert. Per definitionem lag eine Katheterspitze korrekt, wenn sie sich 5,7 cm von der Unterkante der Schlüsselbeine entfernt befand (Salmela und Aromaa, 1993). Auch hier fehlten wiederum Angaben zu eventuellen Winkelbildungen. Es wurden alle thoraxnahen Zugangswege benutzt, das Übergewicht zugunsten der rechtsseitigen Zugangswege betrug etwa 7:1. Corsten und Mitarbeiter kontrollierten die EKG-gestützt gelegten ZVKs radiologisch nach, sie gaben jedoch keine Definition der korrekten ZVK-Position an, weitere Angaben zu den Röntgenbildern fehlten ebenso (Corsten et al., 1994). Doch lag hier zumindest ein ausgewogenes Seitenverhältnis bei den V. subclavia-Punktionen vor, ansonsten wurden die Katheter vorwiegend über die rechte V. jugularis interna gelegt. Das Verhältnis zugunsten der rechtsseitigen Zugangswege betrug etwa 2,5:1. Das Auftreten einer problematischen Winkelbildung war bei den untersuchten linksseitigen Kathetern - alles in allem nur 106 - niemals nachgeprüft worden. Um eine Aussage über die Zuverlässigkeit der EKG-Methode auch bei linksseitigen Zugangswegen treffen zu können, liegen also nicht genügend Daten vor.

Da in unseren Studien allein mehr als 200 Katheter über die linke V. jugularis interna ausgewertet wurden, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszu-

gehen, dass die von uns ermittelte Inzidenz kritischer Winkel linksseitiger Katheter übertragbar ist.

Zusammenfassend muss man feststellen, dass in den meisten vorliegenden Studien die EKG-Methode bislang nicht gut validiert war, denn die Katheterpositionen wurden, wenn überhaupt, anhand konventioneller AP-Thorax-Röntgen-Aufnahmen kontrolliert, die keine eindeutige Beurteilung zulassen. Des Weiteren wurde die Zielposition nicht präzise definiert, gleichwohl wurde die Lage der Katheter immer als korrekt liegend bestätigt. Linksseitige Katheter wurden nicht in ausreichender Zahl untersucht.

Daher verwundert es nicht, dass die oben genannten Ungenauigkeiten in der Anwendung der EKG-Methode bislang keinen Widerspruch erregten. Neben den bereits aufgeführten Schwächen der Validierung, kommen dafür weitere Aspekte in Betracht:

- Arterielle Kanülierungen werden zumeist vor der endgültigen Katheterpositionierung bemerkt, daher werden intraarterielle EKGs so gut wie nie abgeleitet. Es tritt ein „P-atriale“ auf. Dabei werden kaum nachvollziehbare Erklärungsversuche für die erhöhte P-Welle geliefert (z.B. befände sich die Katheterspitze im linken Vorhof; Michaelis und Biscoping, 1998).
- Perforationen und/oder Malpositionen in kleinen Venen werden entweder übersehen oder erst mit zeitlichem Abstand zur Katheteranlage bemerkt. Enden solche Katheter unterhalb der perikardialen Umschlagfalte vergrößert sich die P-Wellen-Amplitude.



- Die EKG-Kurven haben, selbst unter konstanten Bedingungen, eine hohe interindividuelle Streubreite. Die zu erwartenden EKG-Veränderungen werden daher leicht übersehen. Ohne Papierausdruck sind die genauen P-Wellen-Veränderungen nicht dokumentierbar und dann in der Regel auch nicht mehr nachzuvollziehen.

Erst die TEE erlaubt eine klinisch praktikable und präzise Zuordnung intravasaler EKG-Kurven zu den anatomischen Strukturen der distalen V. cava superior und des rechten Vorhofes.

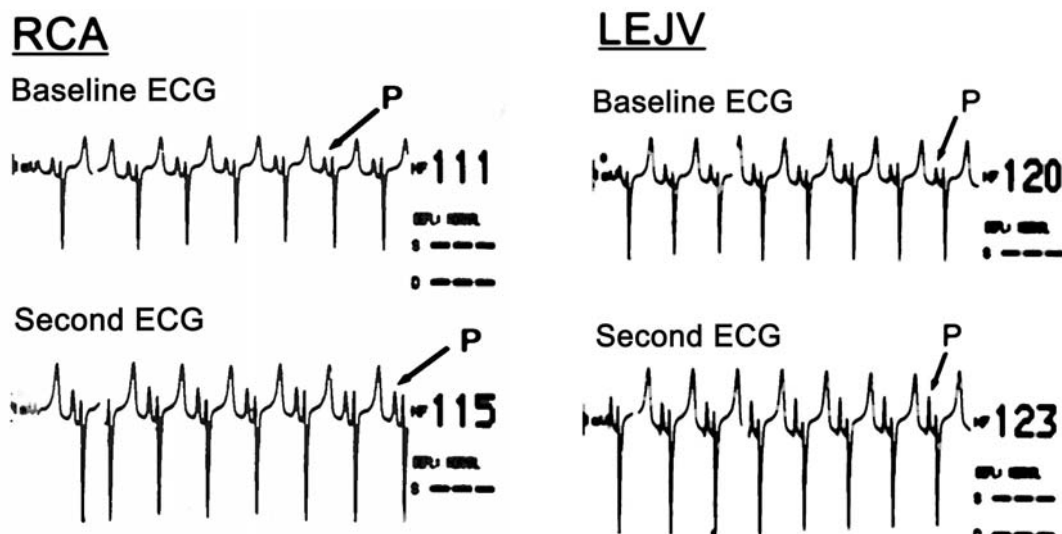
Bisher lautete die gängige Meinung: *„Der Umschlag von einer normalen P-Welle in die intraatriale Form findet sich am Eingang zum rechten Vorhof über eine Strecke von ein bis zwei Zentimetern. Mit anderen Worten, zeigt sich ein hohes intraatriales P, so liegt die Spitze mit Sicherheit im Vorhof, wird der Katheter zurückgezogen, bis wieder ein normales P erscheint, so liegt die Spitze mit Sicherheit vor dem Vorhof in der oberen Hohlvene.“* (EinthovenII) (Media-Service-B.Braun , 15.5.2005)

Davon abweichend konnten wir in unseren Studien zeigen, welche elektrophysiologischen Phänomene an welchen anatomischen Strukturen auftreten. Wir führten die Untersuchungen unter kontinuierlicher Ableitung des intravasalen EKG während des Kathetervorschubs durch. Denn nur so lassen sich geringe Veränderungen der P-Wellen-Amplituden sicher erkennen (s. o. interindividuelle Streubreite) und Arrhythmien vermeiden (Roewer und Engelhardt, 1998; Schummer et al., 2004b).

Die Amplitudenvergrößerung der P-Welle beginnt bereits in der V. cava superior und nimmt unter Vorschub der Elektrode (ZVK-Spitze) stetig zu (P-max). Beim weiteren Vorschub über P-max hinaus wird die P-Wellen-Amplitude wieder

kleiner bzw. biphasisch. Als anatomisches Korrelat für die erste Amplitudenänderung konnten wir die perikardiale Umschlagfalte identifizieren. Dies lässt sich auch elektrophysiologisch erklären. Die aus den Ableitungen registrierten Spannungsdifferenzen sind zum einen abhängig von der aktiven elektrischen Quelle des Herzens und zum anderen vom so genannten Volumenkonduktor, dem extrakardial leitenden Gewebe. Dazu zählen das Fern- und Nahfeld sowie die Widerstände der einzelnen Strukturen. Im Fernfeld nimmt die Potenzialamplitude mit Abstand zum Quadrat oder gar mit höherem Exponenten ab, daher wird initial beim Vorschieben ein konstant niedriges Potenzial beobachtet. Im Nahfeld spielt die Quell-Sensor-Topologie eine Rolle, also der Blickwinkel der Elektrode auf den rechtsatrialen Summenvektor zum Zeitpunkt der P-Welle. Hierzu gilt es anzumerken, dass der Widerstand des Perikards (ca. 160 Ohm x cm für Blut, ca. 500 Ohm x cm für Bindegewebe) zu einer Bündelung der Isopotenziallinien führt. Eine Simulationsrechnung, in welchem Maße die einzelnen Strukturen, also auch das Perikard, dazu beitragen, ist allerdings sehr aufwändig und bleibt aufgrund der oben genannten Phänomene nur Experten der Elektrophysiologie vorbehalten.

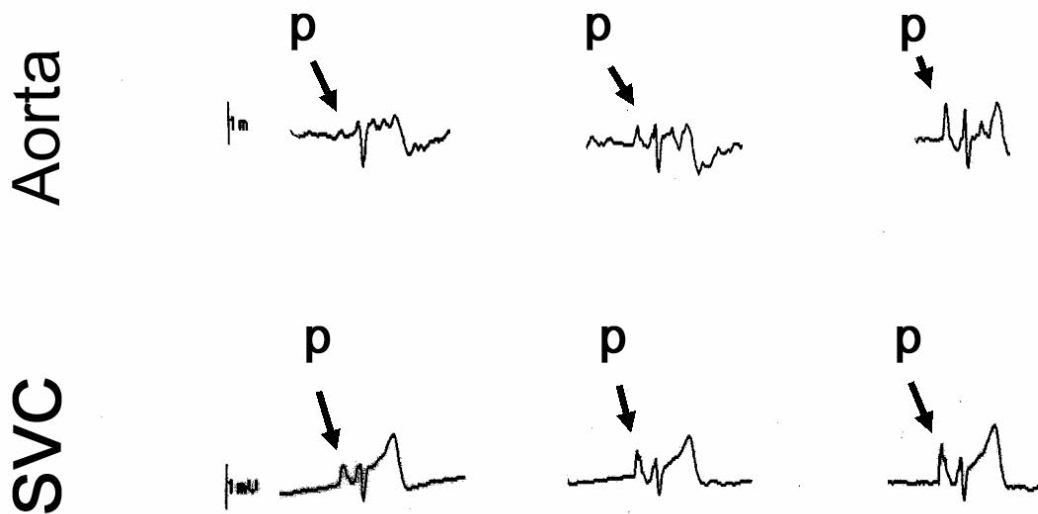
Sind Entfernung und Winkel der Ableitungselektrode zur elektrischen Quelle fast identisch, müssen auch die abgeleiteten EKG-Kurven einander gleichen. Es ist demzufolge zu erwarten, dass das EKG extravasal fast identisch mit dem analogen intravasalen ist. Aus elektrophysiologischer Sicht ist es logisch, ein „P-atriale“ im rechten Vorhof und eventuell noch in der distalen V. cava superior wie auch extravasal ableiten zu können. Ein P-Amplituden-Anstieg sollte zudem vorhofnah, also auch in der Aorta ascendens ableitbar sein. Unter Laborbedingungen konnten wir letzteres an Schweinen zeigen (Abb. 4-5).



**ABB 4-5 EKG-Kurven, abgeleitet bei einem der Versuchsschweine:** Das zweite EKG (**second ECG**) wurde registriert, nachdem ein erster Anstieg der P-Wellen-Amplituden bemerkt wurde, zum Vergleich das Ausgangs-EKG (**Baseline ECG**). **LEJV:** linke V. jugularis externa; **RCA:** rechte A. Carotis. ✓ **P:** P-Welle, ist mit einem Pfeil markiert.

Eine Einzelfallbeobachtung in unserer Klinik mit der arteriellen Fehllage eines Katheters zeigte zwischen den EKG-Kurven, abgeleitet in der Aorta ascendens und der V. cava superior, keine wesentlichen Unterschiede (Schummer et al., 2005a).

## Baseline - Increase in P wave



**ABB 4-6 EKG-Ableitungen bei akzidenteller arterieller Fehlpunktion:** Veränderungen der P-Wellen beim Kathetervorschub in der Aorta und der V. cava superior (**SVC**) bei akzidenteller arterieller Fehlpunktion.  
 ↘ **P:** P-Welle, ist mit einem Pfeil markiert.

In der TEE stellte sich die Katheterspitze immer im Übergang V. cava superior zum rechten Vorhof dar (Basis der crista terminalis), wenn der maximale Ausschlag der P-Welle erreicht wurde. Auch dies lässt sich elektrophysiologisch erklären. Die zwei funktionell und anatomisch separaten Herzmuskelzellen besitzen, im Einklang mit ihren verschiedenen Funktionen, unterschiedliche elektrophysiologische und morphologische Eigenschaften:

- Sinoatrialer Knoten mit Schrittmacher-Funktion: die Amplitude seines Aktionspotenzials ist insgesamt niedrig.
- Atrialer Muskel (primär kontraktiles Gewebe): die kontraktilen Zellen haben ein relativ hohes Ruhepotenzial und eine schnelle Aktionspotenzial-upstroke-Geschwindigkeit. Die Leitungsgeschwindigkeit

ist groß, sie sind leicht zu stimulieren und die Aktionspotenzial-Amplituden sind hoch.

Aufgrund dieser Tatsachen ist zu erwarten, dass eine große P-Welle dort zu beobachten sein müsste, wo sich die größte Depolarisationswelle auf die Elektrode zubewegt. Viele Myozyten, also primär kontraktiles Gewebe, befinden sich in der Crista terminalis, der Hauptausbreitungsroute der Erregungsbildung im rechten Vorhof. Den sinoatrialen Knoten selbst kann die TEE nicht identifizieren. Das gelingt nur histologisch oder elektrophysiologisch mit intrazellulären Ableitungen. Diese Struktur ist sehr variabel und bislang immer nahe des Vorhofsingangs gefunden worden. Ist die negative Elektrode (Katheterspitze) nahe der Crista terminalis positioniert, ist also ein maximal großer Ausschlag der P-Welle zu erwarten.

--	--

**5.**

---

## **EKG-METHODE - FAZIT, PROBLEMATIK, AUSBLICK**

Weder Berechnungen der Einführtiefe mit Hilfe von Formeln noch Röntgen oder klinische Funktionsproben sind geeignet, eine exakte Information über die ZVK-Lage in Bezug zur perikardialen Umschlagfalte oder zum rechten Vorhofeingang zu geben.

Dahingehend ermöglicht es die EKG-Methode - so sie in der von uns beschriebenen Weise angewandt wird -, sowohl die perikardiale Umschlagfalte als auch den Vorhofeingang genau zu identifizieren. Voraussetzung für die erfolgreiche Analyse der EKG-Signale ist ein hochauflösender Monitor. Wir konnten zeigen, dass in der Ableitung Einthoven II die P-Wellen-Amplitude erstmalig signifikant auf Höhe der perikardialen Umschlagfalte ansteigt. Die größte P-Wellen-Amplitude wird an der Basis der Crista terminalis, also am Übergang der V. cava superior zum rechten Vorhof, gemessen. Diese Phänomene haben wir bei beatmeten Patienten mit Sinusrhythmus nachweisen können. Die Ergebnisse waren reproduzierbar für Katheter, die über die rechte und linke V. jugularis interna gelegt worden waren. Katheter, die über andere Zugangswege platziert wurden (z.B. über die V. subclavia), haben wir nicht untersucht. Da es sich aber um die gleichen ableitbaren elektrische Signale handelt, ist es sicherlich erlaubt, die gemachten Aussagen auch auf andere Zugangswege zu übertragen. Dies sollte allerdings noch durch Studien belegt werden.

Ein klarer Vorteil gegenüber der röntgenologischen Lagekontrolle liegt darin, dass bereits während der Anlage des ZVK die Position der Katheterspitze verifiziert und der Katheter in einem Arbeitsgang an die gewünschte Stelle platziert werden kann.

Die von uns beschriebene Methode ist geeignet, Katheter genau ( $\pm 0,5$  cm) am Übergang der V. cava superior zum rechten Vorhof zu platzieren. Damit wird eine zuverlässige Funktion bei niedrigem Komplikationsrisiko gewährleistet.

Allerdings sind im EKG Perforationen, einige Fehllagen, wie z.B. die arterielle Fehllage in der Aorta ascendens, sowie Winkelbildungen mit der Cavawand nicht zu erkennen. Die alleinige EKG-Kontrolle ist daher nicht immer ausreichend.

Zur guten klinischen Praxis gehört es, Röntgenaufnahmen zur Lagekontrolle immer dann anzufertigen, wenn das EKG-Signal nicht eindeutig war, z.B. wenn kein Sinusrhythmus vorliegt, oder bei Emphysemthorax mit niedrigen EKG-Ausschlägen.

Bei Verdacht auf Komplikationen bleiben Röntgenkontrollen auch weiterhin im Sinne der ärztlichen Sorgfaltspflicht unverzichtbar (Schummer et al., 2002a).

Insbesondere für linksseitige Katheter ergibt sich aus den Ergebnissen unserer Studien die Forderung nach einer Modifikation der bisherigen Praxis. Empfehlungen der Katheterhersteller, wie der Firma B.Braun Melsungen AG, führten, wie wir zeigen konnten, bei etwa 50% der Patienten zu Fehllagen.

Bei einem Perforationsrisiko von etwa 2,5-4‰ (Mukau et al., 1991; Robinson et al., 1995) wären in Deutschland bei einer realistischen Annahme von einer Million gelegten ZVKs (ohne Armvenenkatheter) etwa 2500 bis 4000 Patienten von dieser Komplikation betroffen. Durch die von uns entwickelte Methode der ZVK-Positionierung wäre diese Komplikation wahrscheinlich weitestgehend vermeidbar. Da die mittlere Einführtiefe für Katheter über die V. jugularis interna



auf der linken Seite bei  $21,0 \pm 1,2$  cm liegt, sollten solche Katheter allerdings eine einführbare Länge von 25 cm besitzen (Schummer et al., 2005c).

Inwieweit unsere Daten, gewonnen an beatmeten herzchirurgischen Patienten, auf nicht beatmete Patienten oder Patienten, die sich nicht im Sinusrhythmus befinden, übertragbar sind, gilt es künftig zu prüfen. Bevor eine generelle Empfehlung ausgesprochen werden kann, die ZVK-Spitze genau auf P-max liegen zu lassen, sollten daher weitere Patientengruppen, z.B. im Rahmen einer Multicenterstudie, untersucht werden.

Als alleiniges Lagekontrollverfahren halten wir die von uns entwickelte Methode der EKG-gestützten ZVK Positionierung nur bei unkomplizierten Punktionen der V. jugularis interna und externa rechts für angemessen. Alle anderen Katheter sollten nach wie vor radiologisch kontrolliert werden.

In wissenschaftlichen Untersuchungen zur ZVK-Position sollte künftig die TEE und nicht mehr das Röntgenbild als Goldstandard der Lagekontrolle dienen.

Wird ein TEE im Rahmen einer anderen klinischen Indikation durchgeführt, sollte es Routine werden, die Position liegender Katheter ebenfalls mit zu kontrollieren.

Grundsätzlich muss ein liegender ZVK als potentielle Gefahrenquelle für den Patienten angesehen werden. Daher gilt es immer alert zu bleiben für Symptome, die auf eine mögliche Komplikation hinweisen, um diese frühzeitig zu entdecken und adäquat therapieren zu können.

---

**6.**

---

## **LITERATUR**

## 6. LITERATUR

- [1] Agee KR, Balk RA (1992) Central venous catheterization in the critically ill patient. *Crit Care Clin* 8:677-686.
- [2] Albrecht K, Nave H, Breitmeier D, Panning B, Troger HD (2004) Applied anatomy of the superior vena cava-the carina as a landmark to guide central venous catheter placement. *Br J Anaesth* 92:75-77.
- [3] Andropoulos DB, Stayer SA, Bent ST, Campos CJ, Bezold LI, Alvarez M, Fraser CD (1999) A controlled study of transesophageal echocardiography to guide central venous catheter placement in congenital heart surgery patients. *Anesth Analg* 89:65-70.
- [4] Aslamy Z, Dewald CL, Heffner JE (1998) MRI of central venous anatomy: implications for central venous catheter insertion. *Chest* 114:820-826.
- [5] Aubaniac R (1952) A new route for venous injection or puncture: the subclavicular route, subclavian vein, brachiocephalic trunk. *Sem Hop* 28:3445-3447.
- [6] AWMF AdWMF (2001) Leitlinie: „Zentraler Venenkatheter“. Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI):<http://www.uni-duesseldorf.de/WWW/AWMF/II/040-001.htm>.
- [7] Bankier AA, Fleischmann D, Aram L, Heimberger K, Schindler E, Herold CJ (1996) Bildgebung in der Intensivmedizin: Techniken, Indikationen, diagnostische Zeichen – Teil I. *Anaesthesist* 45:769-786.
- [8] Battro A, Bidoggia H (1947) Endocardiac electrocardiogram obtained by heart catheterization in the man. *Am Heart J* 33:604-632.
- [9] Bayer O, Schummer C, Richter K, Fröber R, Schummer W (2006) Implication of the anatomy of the pericardial reflection on positioning of central venous catheters. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 20:777-80.
- [10] Brister NW, Barnette RE (1992) Interpleural placement of central venous catheter. Failure of preventive practices. *Chest* 101:1458-1459.
- [11] Burns JM, Sing RF, Mostafa G, Huynh TT, Jacobs DG, Miles WS, Thomason MH (2005) The role of transesophageal echocardiography in optimizing resuscitation in acutely injured patients. *J Trauma* 59:36-40; discussion 40-32.
- [12] Busch HP, Georgi M: Diagnostik: Sonden und Katheter. In: Radiologische Diagnostik in der Intensivmedizin. Kohlhammer, Stuttgart (1991), S. 108-128.
- [13] Busse J: Wichtiges und Neues zum zentralen Venenkatheter. In: Refresher Course Aktuelles Wissen für Anästhesisten. Stemmler-Druck u. Verlag, Kerpen-Sindorf (1990), S. 101-110.
- [14] Busse J, Schramm G, Kammerer H, Michel R (1974) Intrathorakale Perforationen zentralvenöser Katheter. *Prakt Anaesth* 9:48-54.
- [15] Caruso LJ, Gravenstein N, Layon AJ, Peters K, Gabrielli A (2002) A better landmark for positioning a central venous catheter. *J Clin Monit Comput* 17:331-334.
- [16] Chu KS, Hsu JH, Wang SS, Tang CS, Cheng KI, Wang CK, Wu JR (2004) Accurate central venous port-A catheter placement: intravenous electrocardiography and surface landmark techniques compared by using transesophageal echocardiography. *Anesth Analg* 98:910-914, table of contents.

- [17] Corsten SA, van Dijk B, Bakker NC, de Lange JJ, Scheffer GJ (1994) Central venous catheter placement using the ECG-guided Cavafix-Certodyn SD catheter. *J Clin Anesth* 6:469-472.
- [18] Cournand A: From roots to late budding. The intellectual adventures of a medical scientist. Gardner Press, New York, London (1986)
- [19] Cournand A, Ranges HA (1941) Catheterization of the right auricle in man. *Proc Soc Exp Biol Med* 46:462-466.
- [20] Czepizak CA, O'Callaghan JM, Venus B (1995) Evaluation of formulas for optimal positioning of central venous catheters. *Chest* 107:1662-1664.
- [21] Dailey RH (1988) Late vascular perforations by CVP catheter tips. *J Emerg Med* 6:137-140.
- [22] Defalque RJ, Campbell C (1979) Cardiac tamponade from central venous catheters. *Anesthesiology* 50:249-252.
- [23] Domino KB, Bowdle TA, Posner KL, Spitellie PH, Lee LA, Cheney FW (2004) Injuries and liability related to central vascular catheters: a closed claims analysis. *Anesthesiology* 100:1411-1418.
- [24] Ducatman BS, McMichan JC, Edwards WD (1985) Catheter-induced lesions of the right side of the heart. A one-year prospective study of 141 autopsies. *Jama* 253:791-795.
- [25] Dunbar RD, Mitchell R, Lavine M (1981) Aberrant locations of central venous catheters. *Lancet* 1:711-715.
- [26] Duntley P, Siever J, Korwes ML, Harpel K, Heffner JE (1992) Vascular erosion by central venous catheters. Clinical features and outcome. *Chest* 101:1633-1638.
- [27] Eissa NT, Kvetan V (1990) Guide wire as a cause of complete heart block in patients with preexisting left bundle branch block. *Anesthesiology* 73:772-774.
- [28] Emslie-Smith D (1955) The intracardiac electrogram as an aid in cardiac catheterization. *Br Heart J* 17:219-224.
- [29] English IC, Frew RM, Pigott JF, Zaki M (1969) Percutaneous catheterisation of the internal jugular vein. *Anaesthesia* 24:521-531.
- [30] Fletcher SJ, Bodenham AR (2000) Safe placement of central venous catheters: where should the tip of the catheter lie? *Br J Anaesth* 85:188-191.
- [31] Food and Drug-Administration (1989) Precautions necessary with central venous catheters. FDA Task Force. *FDA Drug Bulletin*:15-16.
- [32] Forauer AR, Alonzo M (2000) Change in peripherally inserted central catheter tip position with abduction and adduction of the upper extremity. *J Vasc Interv Radiol* 11:1315-1318.
- [33] Forßmann W: Selbstversuch – Erinnerungen eines Chirurgen. Droste, Düsseldorf (1972)
- [34] Galloway S, Bodenham A (2004) Long-term central venous access. *Br J Anaesth* 92:722-734.
- [35] Godwin JD, Chen JT (1986) Thoracic venous anatomy. *AJR Am J Roentgenol* 147:674-684.
- [36] Gravenstein N, Blackshear RH (1991) In vitro evaluation of relative perforating potential of central venous catheters: comparison of materials, selected models, number of lumens, and angles of incidence to simulated membrane. *J Clin Monit* 7:1-6.
- [37] Gray H: Gray's Anatomy. Elsevier-Churchill-Livingston, Edinburgh (2005)

- [38] Greenall MJ, Blewitt RW, McMahon MJ (1975) Cardiac tamponade and central venous catheters. *Br Med J* 2:595-597.
- [39] Grollman A: The cardiac output of man in health and disease. Williams and Wilkins, Baltimore (1932)
- [40] Gunga H: Leben und Werk des Berliner Physiologen Nathan Zuntz (1847–1920). Matthiesen Verlag, Husum (1989)
- [41] Hacking MB, Brown J, Chisholm DG (2003) Position dependent ventricular tachycardia in two children with peripherally inserted central catheters (PICCs). *Paediatr Anaesth* 13:527-529.
- [42] Halter J, Urthaler F (1970) Registrierung intrakardialer Elektrokardiogramme mittels Venenkatheter. *Dtsch Med Wochenschr* 95:1028-1029.
- [43] Hansen E, Kutz N, Keyl C, Taeger K (1998) ZVK-Lagekontrolle durch EKG-Ableitung über den Einführdraht. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 33:110-113.
- [44] Harmjanz D, Hartmann W, Gahl K, Wettengel R (1969) Temporäre transvenöse Herzstimulation mit einem Elektrodenschwemmkatheter. *Münch Med Wochenschr* 111:132-134.
- [45] Hartmann N (1979) Obduktionsbefunde am Venensystem nach zentralem Venenkatheter. Inauguraldissertation Med. Fakultät Münster
- [46] Hecht HH (1946) Potential variations of the right auricular and ventricular cavities in man. *Am Heart J* 32:39-51.
- [47] Hellerstein HK, Pritchard WH, Lewis RL (1949) Recording of intracavity potentials through a single lumen, saline filled catheter. *Proc Soc Exp Biol Med* 71:58-60.
- [48] Hermosura B, Vanags S, Dickey MW (1966) Measurement of pressure during intravenous therapy. *JAMA* 195:181/321.
- [49] Ho AM, Chung DC, Tay BA, Yu LM, Yeo P (2000) Diluted venous blood appears arterial: implications for central venous cannulation. *Anesth Analg* 91:1356-1357, TOC.
- [50] Hobbs G, Mahajan R: Radiology for Anesthesia. Churchill Livingstone (2000): 40-45.
- [51] Hufnagl HD (1976) Kontrolle der Cava-Katheterlage durch intraatriales Elektrokardiogramm. *Anaesthesist* 25:106-109.
- [52] Jean G, Chazot C, Vanel T, Charra B, Terrat JC, Calemard E, Laurent G (1997) Central venous catheters for haemodialysis: looking for optimal blood flow. *Nephrol Dial Transplant* 12:1689-1691.
- [53] Kalso E (1985) A short history of central venous catheterization. *Acta Anaesthesiol Scand Suppl* 81:7-10.
- [54] Karnauchow PN (1986) Cardiac tamponade from central venous catheterization. *Cmaj* 135:1145-1147.
- [55] Kawel HG, Schneider JA, Janssen H, Menges MM, Scheunemann P (1974) Elektrische Ortung von Gefäßkathetern. *Dtsch Med Wochenschr* 99:1695-1696.
- [56] Kearns PJ, Coleman S, Wehner JH (1996) Complications of long arm-catheters: a randomized trial of central vs peripheral tip location. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 20:20-24.
- [57] Kim FM, Burrows PE, Hoffer FA, Chung T (1996) Interpreting the results of pediatric central venous catheter studies. *Radiographics* 16:747-754.

- [58] Kisch B, Schwartz BM, King FH, Brahms S, Sussman ML (1948) A method of obtaining intracardial electrograms during cardiac catheterization. *Mt Sinai J Med* 15:257-259.
- [59] Klockgether-Radke AP, Gaus P (2004) Fehllage eines zentralen Venenkatheters bei einem Patienten mit schwerem Thoraxtrauma. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 39:292-296.
- [60] Kollef MH (1994) Fallibility of persistent blood return for confirmation of intravascular catheter placement in patients with hemorrhagic thoracic effusions. *Chest* 106:1906-1908.
- [61] Koscielniak-Nielsen ZJ, Otkjaer S, Hansen OB, Hemmingsen C (1991) CVP catheter electrocardiography: an alternative to radiographic control after cannulation of central veins? *Acta Anaesthesiol Scand* 35:762-766.
- [62] Kowalski CM, Kaufman JA, Rivitz SM, Geller SC, Waltman AC (1997) Migration of central venous catheters: implications for initial catheter tip positioning. *J Vasc Interv Radiol* 8:443-447.
- [63] Langston CS (1971) The aberrant central venous catheter and its complications. *Radiology* 100:55-59.
- [64] Larsen R, Rieke H (1981) Ungewöhnliche Fehllage eines V. jugularis-Katheters. *Anaesthesist* 30:95-97.
- [65] Lenègre J, Maurice P (1945) De quelques résultats obtenus par la dérivation directe intracavitaire des courants électriques de l'oreillette et du ventricule droits. *Arch Mal Coeur Vaiss* 38:298-302.
- [66] Levine HD, Hellems HK, Wittenborg MH, Dexter L (1949a) Studies in intracardiac electrography in man. I. The potential variations in the right atrium. *Am Heart J* 37:46-63.
- [67] Levine HD, Hellems HK, Dow JW, F. GJ (1949b) Studies in intracardiac electrography in man. III. Displacement of the cardiac pacemaker. *Am J Physiol* 156:19-26.
- [68] Lewis CA, Allen TE, Burke DR, Cardella JF, Citron SJ, Cole PE, Drooz AT, Drucker EA, Haskal ZJ, Martin LG, Van Moore A, Neithamer CD, Oglevie SB, Rholl KS, Roberts AC, Sacks D, Sanchez O, Venbrux A, Bakal CW (1997) Quality improvement guidelines for central venous access. The Standards of Practice Committee of the Society of Cardiovascular & Interventional Radiology. *J Vasc Interv Radiol* 8:475-479.
- [69] Lewis CA, Allen TE, Burke DR, Cardella JF, Citron SJ, Cole PE, Drooz AT, Drucker EA, Haskal ZJ, Martin LG, Van Moore A, Neithamer CD, Oglevie SB, Rholl KS, Roberts AC, Sacks D, Sanchez O, Venbrux A, Bakal CW (2003) Quality improvement guidelines for central venous access. *J Vasc Interv Radiol* 14:S231-235.
- [70] Losert H, Prokesch R, Grabenwoger M, Walzl B, Apsner R, Sunder-Plassmann G, Muhm M (2000) Inadvertent transpericardial insertion of a central venous line with cardiac tamponade failure of preventive practices. *Intensive Care Med* 26:1147-1150.
- [71] Luciani A, Clement O, Halimi P, Goudot D, Portier F, Bassot V, Luciani JA, Avan P, Frija G, Bonfils P (2001) Catheter-related upper extremity deep venous thrombosis in cancer patients: a prospective study based on Doppler US. *Radiology* 220:655-660.

- [72] Luisada AA, Liu CK (1957) Simple methods for recording intracardiac electrocardiograms and phonocardiograms during left or right heart catheterization. *Am Heart J* 54:531-536.
- [73] Lunkenheimer PP, Schrader KH (1969) [Inductive localization of cava catheters in the body]. *Thoraxchir Vask Chir* 18:196-198.
- [74] Mackay JH, Arrowsmith JE: Aortic valve disease. In: Arrowsmith JE (Hrsg.) *Core topics in cardiac anaesthesia*. Greenwich Medical Media, Greenwich (2004), S. 169-173.
- [75] Mandolfo S, Galli F, Piazza W, Imbasciati E (2000) Blood flow rate and dialysis adequacy in patients with permanent central venous catheters. *The Journal of Vascular Access* 1:46-50.
- [76] Marouche A, Engelhardt W, Druge G, Hartung E, Roewer N (1998) EKG-Lagekontrolle zentralvenöser Katheter über den Seldingerdraht: Klinische und ökonomischer Aspekte. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 33:114-117.
- [77] März P, Postel J, Zierl O (1984) Die Lagekontrolle des Cava-Katheters unter Verwendung der intraatrialen EKG-Ableitung. *Anaesthesist* 33:123-127.
- [78] Maxeiner H (1991) Arteriell aberrierender Zentralvenenkatheter mit tödlicher Hirnembolie. *Anaesthesist* 40:452-455.
- [79] McGee DC, Gould MK (2003) Preventing complications of central venous catheterization. *N Engl J Med* 348:1123-1133.
- [80] McGee WT, Ackerman BL, Rouben LR, Prasad VM, Bandi V, Mallory DL (1993) Accurate placement of central venous catheters: a prospective, randomized, multicenter trial. *Crit Care Med* 21:1118-1123.
- [81] Media Service B.Braun Melsungen AG <http://www.cvc-partner.de/de.html> (15.5.2005)
- [82] Merry AF, Webster CS, Van Cotthem IC, Holland RL, Beca JS, Middleton NG (1999) A prospective randomized clinical assessment of a new pigtail central venous catheter in comparison with standard alternatives. *Anaesth Intensive Care* 27:639-645.
- [83] Michaelis G, Biscopling J (1998) Entwicklung und derzeitiger Stand der elektrokardiographischen Lagekontrolle zentralvenöser Katheter. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 33:106-110.
- [84] Michaelis G, Biscopling J, Hempelmann G (1988) Die Platzierung des zentralvenösen Katheters unter EKG-Kontrolle. *Anästhes Intensivmed* 30:272-278.
- [85] Michenfelder JD, Martin JT, Altenburg BM, Rehder K (1969) Air embolism during neurosurgery. An evaluation of right-atrial catheters for diagnosis and treatment. *Jama* 208:1353-1358.
- [86] Muhm M, Sunder-Plassmann G, Apsner R, Pernerstorfer T, Rajek A, Lassnigg A, Prokesch R, Derfler K, Druml W (1997) Malposition of central venous catheters. Incidence, management and preventive practices. *Wien Klin Wochenschr* 109:400-405.
- [87] Mukau L, Talamini MA, Sitzmann JV (1991) Risk factors for central venous catheter-related vascular erosions. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 15:513-516.
- [88] Müller KM: *Der intravasale Katheter Indikation – Technik – Komplikation*. Thieme Verlag, Stuttgart (1981)

- [89] National Kidney Disease Outcomes Quality Initiative (1997) NKF-DOQI clinical practice guidelines for vascular access. National Kidney Foundation-Dialysis Outcomes Quality Initiative. *Am J Kidney Dis* 30:S150-191.
- [90] National Kidney Disease Outcomes Quality Initiative (2001) III. NKF-K/DOQI Clinical Practice Guidelines for Vascular Access: update 2000. *Am J Kidney Dis* 37:S137-181.
- [91] Otten TR, Stein PD, Patel KC, Mustafa S, Silbergleit A (2003) Thromboembolic disease involving the superior vena cava and brachiocephalic veins. *Chest* 123:809-812.
- [92] Passaro ME, Steiger E, Curtas S, Seidner DL (1994) Long-term silastic catheters and chest pain. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 18:240-242.
- [93] Peres PW (1990) Positioning central venous catheters--a prospective survey. *Anaesth Intensive Care* 18:536-539.
- [94] Petersen J, Delaney JH, Brakstad MT, Rowbotham RK, Bagley CM, Jr. (1999) Silicone venous access devices positioned with their tips high in the superior vena cava are more likely to malfunction. *Am J Surg* 178:38-41.
- [95] Pithie A, Soutar JS, Pennington CR (1988) Catheter tip position in central vein thrombosis. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 12:613-614.
- [96] Planinsic RM, Nicolau-Raducu R, Caldwell JC, Aggarwal S, Hilmi I (2003) Transesophageal echocardiography-guided placement of internal jugular percutaneous venovenous bypass cannula in orthotopic liver transplantation. *Anesth Analg* 97:648-649.
- [97] Polderman KH, Girbes AJ (2002) Central venous catheter use. Part 1: mechanical complications. *Intensive Care Med* 28:1-17.
- [98] Porter JM, Page R, Wood AE, Phelan D (1997) Ventricular perforation associated with central venous introducer-dilator systems. *Can J Anaesth* 44:317-320.
- [99] Puel V, Caudry M, Le Metayer P, Baste JC, Midy D, Marsault C, Demeaux H, Maire JP (1993) Superior vena cava thrombosis related to catheter malposition in cancer chemotherapy given through implanted ports. *Cancer* 72:2248-2252.
- [100] Radke J, Lange LP, Bartels A, Brunsch C (1990) Lagekontrolle zentralvenöser Katheter mit Hilfe der Ultraschall-Doppler-Methode. *Anaesthesist* 39:283-287.
- [101] Reed WP, Newman KA, Tenney JH, Schimpff SC (1985) Autopsy findings after prolonged catheterization of the right atrium for chemotherapy in acute leukemia. *Surg Gynecol Obstet* 160:417-420.
- [102] Reid CW, Sheridan PJ, Desparmet JF, Adolph VR (1995) Unintended transthoracic pulmonary artery cannulation: a complication of central line insertion. *Anesthesiology* 82:1526-1528.
- [103] Reiser M, Kuhn F-P, Debus J: Radiologie: Thorax. Thieme (2004): 150-170.
- [104] Reynolds N, McCulloch AS, Pennington CR, MacFadyen RJ (2001) Assessment of distal tip position of long-term central venous feeding catheters using transesophageal echocardiology. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 25:39-41.



- [105] Robertson JT, Schick RW, Morgan F, Matson DD (1961) Accurate placement of ventriculo-atrial shunt for hydrocephalus under electrocardiographic control. *J Neurosurg* 18:255-257.
- [106] Robinson JF, Robinson WA, Cohn A, Garg K, Armstrong JD, 2nd (1995) Perforation of the great vessels during central venous line placement. *Arch Intern Med* 155:1225-1228.
- [107] Roewer N, Engelhardt W (1998) Lagekontrolle zentralvenöser Katheter - die Qual der (Methoden-)Wahl. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 33:105-106.
- [108] Royster RL, Johnston WE, Gravlee GP, Brauer S, Richards D (1985) Arrhythmias during venous cannulation prior to pulmonary artery catheter insertion. *Anesth Analg* 64:1214-1216.
- [109] Rufener JB, Andrews RT, Pfister ME, Hofmann LV, Bloch RD, Kudryk BT, Venbrux AC (2003) An evaluation of commonly employed central venous catheter kits and their potential risk for complications of excess guidewire introduction. *J Clin Anesth* 15:250-256.
- [110] Rutherford JS, Merry AF, Occleshaw CJ (1994) Depth of central venous catheterization: an audit of practice in a cardiac surgical unit. *Anaesth Intensive Care* 22:267-271.
- [111] Salmela L, Aromaa U (1993) Verification of the position of a central venous catheter by intra-atrial ECG. When does this method fail? *Acta Anaesthesiol Scand* 37:26-28.
- [112] Schafer M, Ciesielski K, Kuss B, Link J (1988) [Incorrect placement of a vena cava catheter and its prevention by intra-atrial ECG]. *Anaesthesist* 37:49-51.
- [113] Schillinger F, Schillinger D, Montagnac R, Milcent T (1991) Post catheterisation vein stenosis in haemodialysis: comparative angiographic study of 50 subclavian and 50 internal jugular accesses. *Nephrol Dial Transplant* 6:722-724.
- [114] Schillinger F, Schillinger D, Montagnac R, Milcent T (1994) [Central venous stenosis in hemodialysis: comparative angiographic study of subclavian and internal jugular access]. *Nephrologie* 15:129-131.
- [115] Schulz F, Sperhake K, Tsokos M (1999) Tödliche Herztamponade durch Fehllage eines zentralen Venenkatheters. *Rechtsmedizin* 9:62-64.
- [116] Schummer W, Schummer C (2001) Eine seltene Fehllage eines zentralen Venenkatheters. *Intensivmed* 38:664-667.
- [117] Schummer W, Schummer C (2002) Central venous catheter malposition in the azygos arch. *Eur J Anaesthesiol* 19:832-834.
- [118] Schummer W, Schummer C, Reinhold L (2002a) Differentialdiagnose linksthorakaler Venenkatheter am Beispiel einer persistierenden linken oberen Hohlvene. *Anaesthesist* 51:726-730.
- [119] Schummer W, Schummer C, Hoffmann E, Gerold M (2002b) Persistent left superior vena cava: clinical implications for central venous cannulation. *Nutr Clin Pract* 17:304-308.
- [120] Schummer W, Schummer C, Paxian M, Frober R, Settmacher U (2005a) ECG recording of central venous catheter misplaced in inferior thyroid artery. *Br J Anaesth* 94:296-299.
- [121] Schummer W, Schummer C, Paxian M, Stock U, Richter K, Bauer M (2005b) [Extravasal Position of Central Venous Catheters Despite

- Unsuspectious ECG-Guidance.]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 40:91-96.
- [122] Schummer W, Schummer C, Schelenz C, Schmidt P, Frober R, Hüttemann E (2005c) Optimierte Positionierung zentraler Venenkatheter durch eine modifizierte Anwendung der intravasalen Elektrokardiographie. Validierung mithilfe der transösophagealen Echokardiographie. *Anaesthesist*
  - [123] Schummer W, Schummer C, Müller A, Steenbeck J, Fuchs J, Bredle D, Hüttemann E (2004a) ECG-guided central venous catheter positioning: does it detect the pericardial reflection rather than the right atrium? *Eur J Anaesthesiol* 21:600-605.
  - [124] Schummer W, Herrmann S, Schummer C, Funke F, Steenbeck J, Fuchs J, Uhlig T, Reinhart K (2003) Intra-atrial ECG is not a reliable method for positioning left internal jugular vein catheters. *Br J Anaesth* 91:481-486.
  - [125] Schummer W, Schummer C, Schelenz C, Brandes H, Stock U, Müller T, Leder U, Hüttemann E (2004b) Central venous catheters--the inability of 'intra-atrial ECG' to prove adequate positioning. *Br J Anaesth* 93:193-198.
  - [126] Schuster M, Nave H, Piepenbrock S, Pabst R, Panning B (2000) The carina as a landmark in central venous catheter placement. *Br J Anaesth* 85:192-194.
  - [127] Schutz JC, Patel AA, Clark TW, Solomon JA, Freiman DB, Tuite CM, Mondschein JI, Soulen MC, Shlansky-Goldberg RD, Stavropoulos SW, Kwak A, Chittams JL, Trerotola SO (2004) Relationship between chest port catheter tip position and port malfunction after interventional radiologic placement. *J Vasc Interv Radiol* 15:581-587.
  - [128] Sheikh KH, de Bruijn NP, Rankin JS, Clements FM, Stanley T, Wolfe WG, Kisslo J (1990) The utility of transesophageal echocardiography and Doppler color flow imaging in patients undergoing cardiac valve surgery. *J Am Coll Cardiol* 15:363-372.
  - [129] Slany J, Karnik R (1994) Komplikationen intensivmedizinischer Routineinterventionen. *Wien Klin Wochenschr* 106:1-7.
  - [130] Sprung CL, Elser B, Schein RM, Marcial EH, Schrager BR (1989) Risk of right bundle-branch block and complete heart block during pulmonary artery catheterization. *Crit Care Med* 17:1-3.
  - [131] Stanislav GV, Fitzgibbons RJ, Jr., Bailey RT, Jr., Mailliard JA, Johnson PS, Feole JB (1987) Reliability of implantable central venous access devices in patients with cancer. *Arch Surg* 122:1280-1283.
  - [132] Starkhammar H, Bengtsson M, Kay DA, Shapiro AR (1996) Central venous catheter placement using electromagnetic position sensing: a clinical evaluation. *Biomed Instrum Technol* 30:164-170.
  - [133] Sterz H (1960) Intrakardiale Elektrokardiographie. *Arch Kreislaufforsch* 33:259-287.
  - [134] Stuart RK, Shikora SA, Akerman P, Lowell JA, Baxter JK, Apovian C, Champagne C, Jennings A, Keane-Ellison M, Bistrian BR (1990) Incidence of arrhythmia with central venous catheter insertion and exchange. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 14:152-155.
  - [135] Sunder-Plassmann G, Muhm M, Drum W (1996) Placement of central venous catheters by overinsertion of guide wires: low complication rate in 1527 central venous access devices. *Nephrol Dial Transplant* 11:911-912.

- [136] Taber SW, Bergamini TM (1997) Long-term venous access: indications and choice of site and catheter. *Semin Vasc Surg* 10:130-134.
- [137] Teichgraber UK, Gebauer B, Benter T, Wagner J (2004) [Long-term central venous lines and their complications]. *Rofo* 176:944-952.
- [138] Tempe DK, Virmani S, Tomar AS, Datt V, Aggarwal N, Yaddav S, Narang P, Minhas HS, Banerjee A (2003) Atrial ECG as a guide to the placement of central venous catheter in patients undergoing open heart surgery. *Annals of Cardiac Anaesthesia* 6:35-41.
- [139] Tocino IM, Watanabe A (1986) Impending catheter perforation of superior vena cava: radiographic recognition. *AJR Am J Roentgenol* 146:487-490.
- [140] Townley SA (2003) Central venous catheter malposition in an anomalous pulmonary vein. *Eur J Anaesthesiol* 20:985-986.
- [141] Unnikrishnan D, Idris N, Varshneya N (2003) Complete heart block during central venous catheter placement in a patient with pre-existing left bundle branch block. *Br J Anaesth* 91:747-749.
- [142] Vail CM, Ravin CE: Cardiovascular monitoring devices. In: Putman CE (Hrsg.) *Critical Care Imaging*. W. B. Saunders, Philadelphia (1992), S. 3-12.
- [143] van Haeften TW, van Pampus EC, Boot H, Strack van Schijndel RJ, Thijs LG (1988) Cardiac tamponade from misplaced central venous line in pericardiophrenic vein. *Arch Intern Med* 148:1649-1650.
- [144] Vesely TM (2003) Central venous catheter tip position: a continuing controversy. *J Vasc Interv Radiol* 14:527-534.
- [145] Vogel JH, Tabari K, Averill KH, Blount SG, Jr. (1964) A Simple Technique for Identifying P Waves in Complex Arrhythmias. *Am Heart J* 67:158-161.
- [146] Watson H (1962) Intracardiac electrography in the investigation of congenital heart disease in infancy and the neonatal period. *Br Heart J* 24:144-156.
- [147] Watson H (1964) Electrode Catheters and the Diagnostic Application of Intracardiac Electrography in Small Children. *Circulation* 29:284-305.
- [148] Webb JG, Simmonds SD, Chan-Yan C (1986) Central venous catheter malposition presenting as chest pain. *Chest* 89:309-312.
- [149] Wechsler RJ, Byrne KJ, Steiner RM (1984) The misplaced thoracic venous catheter: detailed anatomical consideration. *Crit Rev Diagn Imaging* 21:289-305.
- [150] Weissauer W (1988) Der Kava-Katheter aus mediko-legaler Sicht [The cava-catheter from the medico-legal viewpoint]. *Anästh Intensivmed* 29:279-283.
- [151] Weissauer W (1998) Der Cava-Katheter aus mediko-legaler Sicht [The cava-catheter from the medico-legal viewpoint]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 33:117-118.
- [152] Welter HF, Nathrath WB, Pfeifer KJ (1981) [Perforation of the cardiac wall during central venous catheterization - muscular defects as a contributing factor (author's transl)]. *Anasth Intensivther Notfallmed* 16:274-278.
- [153] Wilson RG, Gaer JA (1988) Right atrial electrocardiography in placement of central venous catheters. *Lancet* 1:462-463.
- [154] Wu X, Studer W, Skarvan K, Seeberger MD (1999) High incidence of intravenous thrombi after short-term central venous catheterization of the internal jugular vein. *J Clin Anesth* 11:482-485.

- [155] Xiang DZ, Verbeken EK, Van Lommel AT, Stas M, De Wever I (1998) Composition and formation of the sleeve enveloping a central venous catheter. *J Vasc Surg* 28:260-271.
- [156] Zaman MH, Mitra P, Bondi E, Gintautas J, Abadir AR (1990) A rare malposition of the central venous catheter. *Chest* 98:768-770.

---

**7.**

---

## **ABKÜRZUNGEN**

## 7. ABKÜRZUNGEN

AP .....	anterior-posterior
AV-Knoten .....	Atrioventrikularknoten
EKG .....	Elektrokardiogramm
FDA.....	Food-and-Drug Administration
LVJI.....	Vena jugularis interna links
MRT .....	Magnetresonanztomographie
NaCl .....	Kochsalzlösung
P-max.....	maximaler Anstieg der P-Wellen Amplitude
P-rise.....	erster Anstieg der P-Wellen Amplitude
RA .....	Rechter Vorhof
RVJI .....	Vena jugularis interna rechts
TEE .....	Transösophageale Echokardiographie
VCS.....	Vena cava superior
VJE .....	Vena jugularis externa
VJI.....	Vena jugularis interna
ZVK.....	zentraler Venenkatheter

**8.**

---

## **DANKSAGUNG**

## 7. DANKSAGUNG

Danken möchte ich an erster Stelle Herrn Professor Dr. Konrad Reinhart für die Unterstützung während meiner Jahre an der Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie der Friedrich-Schiller-Universität Jena, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Die zutreffendste Beschreibung für wissenschaftliches Arbeiten mit undefiniertem Ausgang wurde von Andrew Wiles (Simon Singh. Fermat's Enigma, 1998) als ein Gang durch ein dunkles Haus markant beschrieben.

*„Man betritt den ersten Raum, und er ist dunkel. Vollkommen dunkel. Man stolpert herum und stößt gegen die Möbel, doch allmählich wird klar, was wo steht. Endlich, nach vielleicht einem halben Jahr, findet man den Lichtschalter, und plötzlich liegt alles im Hellen. Man kann genau sehen, wo man ist. Dann geht man in den nächsten Raum und verbringt wieder ein halbes Jahr im Dunkeln. Diese Durchbrüche, für die man manchmal nur einen Augenblick braucht, ein andermal ein oder zwei Tage, sind allesamt Errungenschaften der vielen Monate Herumstolperns im Dunkeln, ohne die es sie nicht geben würde.“*

Mein weiterer Dank gilt daher den Personen, die mir dazu verholfen haben, diese Zimmer zu betreten und die Lichtschalter zu finden.

Insbesondere schulde ich Frau Dr. Rosemarie Fröber, Herrn Dr. Jürgen Fuchs, Herrn Dr. Reiner Gottschall, Herrn PD Dr. Egbert Hüttemann, Herrn PD Dr. Andreas Müller und Herrn Dr. Jörg Steenbeck Dank, die durch ihre konstruktive, freundschaftliche Zusammenarbeit und ihre Ratschläge wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Ein Dankeschön gilt ferner den Mitarbeitern der Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie - stellvertretend für viele seien hier Frau Karen Gruhn und Herr Dr Christoph Schelenz benannt - für die gute Zusammenarbeit und stete Unterstützung.

Auch den Mitarbeitern der Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie (Direktor: Professor Dr. Thorsten Wahlers) der Friedrich-Schiller-Universität Jena schulde ich für die Unterstützung meiner Arbeit Dank.

Meinen ersten klinischen Lehrern – Dr. Walter Ehmann, Dr. Norbert Speichermann und Prof. Ernst-Diethelm Spilker - bin ich für ihre Förderung dankbar. Sie lehrten mich kritisches Denken. Ich hoffe, dass ich dieses an die mir zur Betreuung anvertrauten Promoventen weitergeben konnte, bei denen ich mich an dieser Stelle für ihre sorgfältige Arbeit herzlich bedanke.

Danke auch allen Freunden, die oft auf mich verzichten mussten und die mich dennoch auch in schwierigen Phasen immer gestützt haben, dazu zählen auch Christine Jäger und Justus Ulbricht, die das Manuskript durchsahen.



Nicht zuletzt gilt mein besonderer Dank meiner Familie, die mich in allem, was ich tue, stets unterstützt. Auch wenn dies bedeutet, dass sich in „guten“ Zeiten zahlreiche Papierstapel auf allen verfügbaren Tischen türmen.

Insbesondere meiner Gattin, Frau Dr. Claudia Schummer, bin ich für ihren steten Rückhalt, ihre Geduld und ihre Diskussionsbereitschaft dankbar, die Motor für neue Anstrengungen waren. Durch Sie war mir diese Arbeit erst möglich.

Nicht vergessen werden sollen unsere Patienten. Wir lernen aus ihren Krankheiten, aber auch aus ihrem Unglück. Daher sei den Patienten an dieser Stelle gedankt, die mit ihren Informationen diese Arbeit getragen haben. Ich wünsche mir, dass durch die neuen Erkenntnisse die Positionierung zentralvenöser Katheter für künftige Patientengenerationen hoffentlich sicherer wird.

**9.**

---

## **SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG**

## **SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG**

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Habilitationsschrift selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel und Literatur angefertigt habe.

Jena, den

**10.**

---

**ERKLÄRUNG ÜBER FRÜHERE ODER LAUFENDE  
HABILITATIONSVERFAHREN**

## **ERKLÄRUNG ÜBER FRÜHERE ODER LAUFENDE HABILITATIONSVERFAHREN**

Ich erkläre, dass ich keine weitere Habilitationsschrift an einer anderen Hochschule eingereicht habe.

Jena, den

**11.**

---

## **CURRICULUM VITAE**

## Curriculum vitae

Name	Dr. Wolfram Schummer
Geburtsdatum	16. November 1958
Geburtsort	Freiburg im Breisgau
Staatsangehörigkeit	Deutsch
Familienstand	Verheiratet seit dem 17. Juni 1996
Familie	Dr. Claudia Schummer Stella Victoria Schummer Moirä Constanze Schummer
Konfession	Römisch-katholisch

### SCHULBILDUNG

1965 – 1968	Grundschule, Ludwigsburg
1968 – 1977	Friedrich-Schiller-Gymnasium, Ludwigsburg

### WEHRDIENST

1977 – 1979	Sanitätseinheit; Sanitätslehrgänge 1-3 und Offizierslehrgang an der Sanitätsakademie der Bundeswehr in München
-------------	--

### STUDIUM

1979 – 1985	Medizinstudium an der Universität Ulm
1981	Ärztliche Vorprüfung
1983	1. Staatsexamen
1985	2. Staatsexamen
April 1985 - Mai 1986	Praktisches Jahr am Krankenhaus Ludwigsburg nach Umimmatrikulation an die Universität Heidelberg
Mai 1986	3. Staatsexamen
Mai 1986	Approbation als Arzt

### BERUF

Juni 1986 – November 1994	Assistenzarzt an der Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin; Krankenhaus Ludwigsburg (1050 Betten) Leiter Prof. Dr. Spilker
Dezember 1987	Fachkundenachweis Rettungsdienst
November 1988	Promotion an der Universität Ulm: <i>Veränderungen der Einsatzcharakteristika am Beispiel der Station des Rettungshubschraubers "SAR ULM 75" -</i>

	<i>Statistische Untersuchung über einen Zeitraum von 5 Jahren</i> erstellt an der Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin des Bundeswehrkrankenhauses Ulm; Leiter Prof. Dr. Bock Anerkennung als Arzt für Anästhesiologie stellv. Leiter der interdisziplinären Intensivstation am KH Ludwigsburg (16 Betten)
Dezember 1994 bis Juni 1996	Oberarzt an der Abteilung für Anästhesie des Sankt Katharinenkrankenhauses in Frankfurt am Main Tätigkeitsgebiet: operative Intensivmedizin (Organisation, Auf- und Ausbau) und Risikoanästhesien
April 1995	Zusatzbezeichnung: Spezielle Anästhesiologische Intensivmedizin
Juli 1996 - Februar 2000	Facharzt an der Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie der Friedrich Schiller Universität Jena; Leiter Prof. Dr. Reinhart
März 1997 - November 1998	Organisation, Auf- und Ausbau der Intensivstation an der Klinik für Neurologie der FSU Jena; Leiter Prof. Dr. Weiller Wissenschaft: septische Enzephalopathie
Dezember 1998	Rückkehr in die Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie Bereich Anästhesie
Juni 1999 – Februar 2000	Oberarzt: Leitung des Zentral OP
September 1999	Ermächtigung zum Instruktor für Fundamental Critical Care Support (FCCS)
März 2000 – September 2001	Leitung der Intensivstation der Neurologischen Klinik der Universität Hamburg – Eppendorf; Klinikdirektor Prof. Dr. Weiller Wissenschaft: Hämodynamik cerebraler Venen bei aneurysmatischer Subarachnoidalblutung Doppler-gestützte ZVK-Anlage bei Patienten mit normaler und reduzierter intrakranieller Compliance
März 2000	European Diploma in Intensive Care Medicine



Mai 2000	Diploma of European Academy of Anaesthesiology
Oktober 2001 bis heute	Oberarzt an der Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie der Friedrich-Schiller Universität Jena, Bereich Anästhesie; Leiter Prof. Dr. Reinhart Wissenschaft: Ultraschall und ZVK-Anlagen Lagekontrollverfahren zentraler Venenkatheter
September 2001	Fortbildung zum Transfusionsverantwortlichen und Transfusionsbeauftragten

**12.**

---

## PUBLIKATIONEN

## 12.1 VERÖFFENTLICHUNGEN IN REFERIERTEN FACHJOURNALEN

- [1] Schummer W, Schummer C (1999) Survival put to the acid test: extreme arterial blood acidosis (pH 6.33) after near drowning. *Crit Care Med* 27:2071-2073.
- [2] Terborg C, Schummer W, Albrecht M, Weiller C, Röther J (1999) Reduction of CO<sub>2</sub>-reactivity as pathogenetic factor of septic encephalopathy: a study with near-infrared spectroscopy and transcranial Doppler sonography. *Zentralbl Neurochir* 60:41.
- [3] Schummer WJ, Schummer C (2000) Cardiac arrest in multiple visceral organ transplantation: successful treatment with continuous venovenous hemodiafiltration. *Anesthesiology* 93:589.
- [4] Schummer WJ, Schummer C (2000) Cardiac arrest in multiple visceral organ transplantation: successful treatment with continuous venovenous hemodiafiltration. *Anesthesiology* 93:589.
- [5] Schummer W, Schummer C, Weiller C (2001) Dural sinus thrombosis: a rare but potential deleterious complication of a central venous catheter. *Intensive Care Med* 27:618-619.
- [6] Schummer W, Schummer C, Fritz H (2001) [Perforation of the superior vena cava due to unrecognized stenosis. Case report of a lethal complication of central venous catheterization]. *Anaesthesist* 50:772-777.
- [7] Schummer W, Schummer C (2001) Pericardial tamponade as a delayed complication of central venous catheterization. *Eur J Anaesthesiol* 18:780-781.
- [8] Terborg C, Schummer W, Albrecht M, Reinhart K, Weiller C, Rother J (2001) Dysfunction of vasomotor reactivity in severe sepsis and septic shock. *Intensive Care Med* 27:1231-1234.
- [9] Schummer W, Schummer C (2002) Another cause of epidural catheter breakage? *Anesth Analg* 94:233.
- [10] Schummer W, Schummer C (2002) Another neurological complication of central venous cannulation. *Eur J Anaesthesiol* 19:73-75.
- [11] Schummer W, Schummer C (2002) Central venous catheter malposition in the azygos arch. *Eur J Anaesthesiol* 19:832-834.
- [12] Schummer W, Schummer C (2002) Checking CVC position after insertion: comment on "Central venous catheter use. I. Mechanical complication," by Polderman and Girbes. *Intensive Care Med* 28:806; author reply 807.
- [13] Schummer W, Schummer C, Reinhold L (2002) [Differential diagnosis of left-sided thoracic venous catheters: case report of a persistent left superior vena cava]. *Anaesthesist* 51:726-730.
- [14] Schummer WJ, Schummer C (2002) Hyperkalemic cardiac arrest: the method chosen depends on the local circumstances. *Crit Care Med* 30:1674-1675.
- [15] Schummer W, Schummer C, Gaser E, Bartunek R (2002) Loss of the guide wire: mishap or blunJahder? *Br J Anaesth* 88:144-146.
- [16] Schummer W, Schummer C (2002) Nonsteroidal anti-inflammatory drugs and streptococcal toxic shock syndrome. *Intensive Care Med* 28:1194.

- [17] Schummer W, Schummer C, Hoffmann E, Gerold M (2002) Persistent Left Superior Vena Cava: Clinical Implications for Central Venous Cannulation. *Nutr Clin Pract* 17:304-308.
- [18] Schummer W, Schummer C, Fuchs J, Voigt R (2002) Sudden upper airway obstruction due to invisible rain-out in the heat and moisture exchange filter. *Br J Anaesth* 89:335-336; author reply 336.
- [19] Schummer W, Schummer C, Kuwert C (2002) Toxic epidermal necrolysis after phenytoin usage in a brain trauma patient. *J Neurosurg Anesthesiol* 14:229-233.
- [20] Schummer W, Schummer C (2002) Two cases of delayed diagnosis of postpartal streptococcal toxic shock syndrome. *Infect Dis Obstet Gynecol* 10:217-222.
- [21] Schummer W, Schummer C, Niesen WD (2002) Unrecognized internal jugular vein obstruction: cause of fatal intracranial hypertension after tracheostomy? *J Neurosurg Anesthesiol* 14:313-315.
- [22] Schummer W, Schummer C, Schlegel-Hoefner H (2002) An unusual problem during central venous cannulation by Seldinger technique. *J Clin Anesth* 14:158-159.
- [23] Schummer W, Schummer C, Schelenz C (2003) Case report: the malfunctioning implanted venous access device. *Br J Nurs* 12:210, 212-214.
- [24] Schummer W, Schummer C, Hoffmann E (2003) [Chylothorax after central venous catheterization. Considerations to anatomy, differential diagnosis and therapy]. *Anaesthesist* 52:919-924.
- [25] Schummer W, Schummer C, Gottschall R, Schumann M (2003) Delayed diagnosis of right-sided diaphragmatic rupture. *Accid Emerg Nurs* 11:2-4.
- [26] Schummer W, Schummer C, Niesen WD, Gerstenberg H (2003) Doppler-guided cannulation of internal jugular vein, subclavian vein and innominate (brachiocephalic) vein--a case-control comparison in patients with reduced and normal intracranial compliance. *Intensive Care Med* 29:1535-1540.
- [27] Schummer W, Schummer C, Muller A, Karzai W (2003) [Extravasation: a rare complication of central venous cannulation? Case report of an imminent erosion of the common carotid artery]. *Anaesthesist* 52:711-717.
- [28] Schummer W, Schummer C, Frober R (2003) Internal jugular vein and anatomic relationship at the root of the neck. *Anesth Analg* 96:1540; author reply 1540-1541.
- [29] Schummer W, Herrmann S, Schummer C, Funke F, Steenbeck J, Fuchs J, Uhlig T, Reinhart K (2003) Intra-atrial ECG is not a reliable method for positioning left internal jugular vein catheters. *Br J Anaesth* 91:481-486.
- [30] Schummer W, Schummer C, Gerold M (2003) Letter to the Editor. *Nutr Clin Pract* 18:102-103.
- [31] Schummer W, Schummer C, Frober R (2003) Persistent left superior vena cava and central venous catheter position: clinical impact illustrated by four cases. *Surg Radiol Anat* 25:315-321.
- [32] Schummer W, Schummer C, Voigt R, Heyne J, Steenbeck J (2003) [Pseudoaneurysm--a rare complication of internal jugular vein cannulation: two case reports in liver transplant patients]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 38:542-546.

- [33] Schummer W, Schummer C, Fuchs J (2003) "Slow puncture" of a pulmonary artery catheter balloon. *Anesth Analg* 97:926.
- [34] Gillmeister I, Schummer C, Hommann M, Schummer W (2004) [Delayed onset of malignant hyperthermia crisis during a living donor liver transplantation caused by sevoflurane]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 39:153-156.
- [35] Niesen WD, Rosenkranz M, Schummer W, Weiller C, Sliwka U (2004) Cerebral venous flow velocity predicts poor outcome in subarachnoid hemorrhage. *Stroke* 35:1873-1878.
- [36] Rosenkranz M, Grzyska U, Niesen W, Fuchs K, Schummer W, Weiller C, Rother J (2004) Anterior spinal artery syndrome following periradicular cervical nerve root therapy. *J Neurol* 251:229-231.
- [37] Schummer W, Schummer C (2004) Acute heart failure during spinal surgery in a boy with Duchenne muscular dystrophy. *Br J Anaesth* 92:149; author reply 149-150.
- [38] Schummer W, Schummer C, Wippermann J, Fuchs J (2004) Anaphylactic shock: is vasopressin the drug of choice? *Anesthesiology* 101:1025-1027.
- [39] Schummer W, Schummer C, Bredle D, Frober R (2004) The anterior jugular venous system: variability and clinical impact. *Anesth Analg* 99:1625-1629, table of contents.
- [40] Schummer W, Schummer C, Steenbeck J (2004) Central venous catheter in the left hemithorax--malpositioned? *J Cardiothorac Vasc Anesth* 18:529-531.
- [41] Schummer W, Schummer C, Schelenz C, Brandes H, Stock U, Muller T, Leder U, Huttemann E (2004) Central venous catheters--the inability of 'intra-atrial ECG' to prove adequate positioning. *Br J Anaesth* 93:193-198.
- [42] Schummer W, Schummer C, Muller A, Steenbeck J, Fuchs J, Bredle D, Huttemann E (2004) ECG-guided central venous catheter positioning: does it detect the pericardial reflection rather than the right atrium? *Eur J Anaesthesiol* 21:600-605.
- [43] Schummer W, Schummer C (2004) Erroneous cardiac output measurement due to loop formation of a Swan-Ganz catheter in the pulmonary artery. *J Clin Anesth* 16:235-236.
- [44] Schummer W, Schummer C, Gorse A, Becker U, Marx C, Brauer M (2004) Expect the unexpected: malposition of a large-bore central venous catheter in the urinary bladder. *Eur J Emerg Med* 11:351-354.
- [45] Schummer W, Schummer C (2004) [Malposition of a central venous catheter in a patient with severe chest trauma. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2004; 39: 292-6]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 39:447; author reply 447.
- [46] Schummer W, Schummer C, Tuppatsch H, Reinhart K, Huttemann E (2004) [On the use of ultrasound to assist central vein cannulation in Germany: a survey of 817 departments of anesthesia]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 39:87-93.
- [47] Schummer W, Schummer C (2004) Patient positioning and ultrasound guidance are important in bilateral cannulation of internal jugular veins. *Anesthesiology* 100:1624-1625; author reply 1626.

- [48] Schummer W, Schummer C, Paxian M, Frober R, Settmacher U (2005) ECG recording of central venous catheter misplaced in inferior thyroid artery. *Br J Anaesth* 94:296-299.
- [49] Schummer W, Schummer C, Paxian M, Stock U, Richter K, Bauer M (2005) [Extravasal position of central venous catheters despite unsuspicious ECG-guidance]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 40:91-96.
- [50] Schummer W, Schummer C, Bayer O, Muller A, Bredle D, Karzai W (2005) Extravasation injury in the perioperative setting. *Anesth Analg* 100:722-727, table of contents.
- [51] Schummer W, Schummer C, Frober R, Fuchs J, Simon M, Huttemann E (2005) The influence of the Univent endotracheal tube on internal jugular vein cannulation. *Anaesth Intensive Care* 33:82-86.
- [52] Schummer W, Schummer C, Schelenz C, Schmidt P, Frober R, Huttemann E (2005) [Modified ECG-guidance for optimal central venous catheter tip positioning A transesophageal echocardiography controlled study.]. *Anaesthesist*
- [53] Schummer W, Schummer C, Schleussner E, Frober R, Ferrari M, Fuchs J (2005) [Uncorrected transposition of the great arteries and large ventricular septum defect perioperative management of a caesarean section]. *Anaesthesist* 54:333-340.
- [54] Schummer W, Schummer C, Fuchs J (2005) [Vasopressin]. *Anaesthesist* 54:707-708.
- [55] Schummer W, Schummer C, Schelenz C, Schmidt P, Frober R, Huttemann E (2005) [Modified ECG-guidance for optimal central venous catheter tip positioning A transesophageal echocardiography controlled study.]. *Anaesthesist* 54:983-990.
- [56] Bayer O, Schummer C, Richter K, Fröber R, Schummer W. Implication of the anatomy of the pericardial reflection on positioning of central venous catheters (2006) *J Cardiothorac Vasc Anesth* 20:777-80.
- [57] Schummer W, Schummer C (2006) Images in cardiovascular medicine. Cannulation of a persistent left superior vena cava: a clue given by ECG guidance. *Circulation* 114:e503-4.
- [58] Schummer W, Schummer C, Klemm P, Brodhun M, Neumann R, Bondartschuk M, Koscielny S, Hübner A (2006). Tracheal agenesis : A rare cause of respiratory insufficiency in neonates. *Anaesthesist* 55:1259-65.
- [59] Schummer W, Schummer C, Tuppatsch H, Fuchs J, Bloos F, Hüttemann E (2006) Ultrasound-guided central venous cannulation: is there a difference between Doppler and B-mode ultrasound? *J Clin Anesth* 18:167-72.
- [60] Schummer W, Schummer C, Sakka SG (2006) A persistent left superior vena cava: erroneous measurement of cardiac output. *Anesth Analg* 103:1340-1.

## 12.2 POSTER UND ABSTRACTS

1. Sliwka U, Terborg C, Schubert R, Schummer W, Weiller C. Dopplersonographischer Normalbefund bei den klinischen Zeichen des dissoziierten Hirntodes. ANIM, Hamburg, 22.-24.01.1998

2. Terborg C, Schummer W, Albrecht M, Weiller C, Röther J. Zerebrale Autoregulationsstörung bei schwerer Sepsis und septischen Schock: Ursache der septischen Enzephalopathie? ANIM, Karlsruhe, 21.-23.1.1999
3. Terborg C, Steinbach D, Schummer W, Schummer C, Sliwka U, Weiller C, Röther J. Monitoring der zerebralen Hämodynamik während Vorhofflimmern, Kardioversion und anschließend Sinusrhythmus mittels transkranieller Dopplersonographie (TCD) und Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS). ANIM, Karlsruhe, 21.-23.01.1999
4. Terborg C, Schummer W, Albrecht M, Weiller C, Röther J. Dysfunction of vasomotor reactivity as pathogenetic factor of septic encephalopathy. 28th Educational and Scientific Symposium of the Society of Critical Care Medicine. [Critical Care Medicine 27; 1999: Supplement 1:A 88], San Francisco, California, 23-27.01.1999
5. Terborg C, Schummer W, Albrecht M, Weiller C, Röther J. Dysfunction of Vasomotor Reactivity as Pathogenetic Factor of Septic Encephalopathy. 24<sup>th</sup> AHA International Conference on Stroke and Cerebral Circulation, [Stroke 30;1999:278], Nashville, 04.-06.02.1999
6. Terborg C, Schummer W, Albrecht M, Weiller C, Röther J. Reduction of CO<sub>2</sub>-Reactivity as pathogenetic factor of septic encephalopathy: A study with near-infra-red spectroscopy and transcranial doppler sonography. [Cerebrovasc Dis 9; 1999: Suppl. 2.]
7. Weiss AC, Schummer W, Weiller C, Röther J. Koma und Panzytopenie durch Hypothermie nach Kraniopharyngeomextirpation [P135]. ANIM 2002, Kassel, 24.-26.01.2002
8. Niesen W, Schummer W, Röther J, Weiller C. Fulminanter Verlauf einer ADEM oder akuten Zerebritis? [P166]. ANIM 2002, Kassel, 24.-26.01.2002
9. Fuchs J, Bloos B, Engelhardt E, Hüttemann E, Schummer W. Detection of Tracheal Misplacement of Nasogastric Tubes in Anesthetized Patients Using Endotracheal Cuff Pressure Measurement [Anesthesiology 99; 2003:A1313]. San Francisco, 11-15.10.2003
10. Niesen W, Rosenkranz M, Schummer W, Weiller C, Sliwka U. Hämodynamik der zerebralen Venen bei aneurysmatischer SAB - ein früher Outcome-Marker. [Akt Neurol 30; 2003: Supplement I-220]
11. Schummer W, Schummer C, Richter K, Fröber R. Verlauf der perikardialen Umschlagfalte in Bezug zur Vena cava superior und sein klinische Bedeutung. [Intensivmedizin und Notfallmedizin 41; 2004, Supplement I-29]. DIVI, Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin, Hamburg, 01.-04.12.2004
12. Thuemer O, Buettner M, Schenke S, Schummer W, Sakka SG. Systolic pressure variation guided volume therapy - are there any advantages on the organ function? 18<sup>th</sup> Annual Congress: European Society of Intensive Care Medicine, Amsterdam, 25.-28.09.2005
13. Bayer O, Schummer C, Richter K, Fröber R, Schummer W. Anatomical Considerations of the Superior Vena Cava with Respect to Central Venous Catheter Positioning. [Anesthesiology 103; 2005:A1162]. ASA-Annual Meeting, Atlanta, 22.-26.10.2005

14. Leitsmann J, Bayer O, Schummer C, Schummer W. ECG-guided positioning of central venous catheters: A validity study. ASA Annual meeting Chicago, October 14-18, 2006

### 12.3 VORTRÄGE AUF EINLADUNG

1. Schummer W. Der besondere Fall – 2 Kasuistiken aus der Intensivmedizin. Infektionsmanagement in der Chirurgie, Karlsbad (Karlovy Vary), 26./27.06.1999
2. Schummer W. Procalcitonin - ein Fortschritt in der Diagnose der Sepsis. 02./03.07.1999 W-LH  
(ed) Workshop Infektiologie Abdomen, Hamburg, 02./03.07.1999
3. Schummer W. Anästhesie bei Nebennierenrindentumoren. Aktuelle Problematik bei Nebennierentumoren - ein interdisziplinärer Workshop, Jena, 20.11.1999
4. Schummer W. Zentralvenöse Zugänge in Notfallsituationen. Symposium für Notärzte, Bürgel, November.1999
5. Schummer W. Zentralvenöse Zugänge. Jenaer Workshop Anatomie und invasive Zugänge, Jena, 06.10.2000
6. Schummer W. Zentralvenöse Zugänge. Internationales Jenaer Symposium, Jena, 14.02.2001
7. Schummer W. Zentralvenöse Zugänge. Jenaer Anatomieworkshop, "Invasive Zugänge –Atemweg, Thorax, Zentrale Venen", Jena, 28.10.2001
8. Schummer W. Zentralvenöse Zugänge. Weiterbildungskurs der Foundation for European Education in Anaesthesiology, Jena, 08.-10.11.2001
9. Schummer W. Komplikationen zentralvenöser Zugänge. Zentralklinik Bad Berka: Weiterbildungsveranstaltung, Bad Berka, 11.12.2002
10. Schummer W. Komplikationen zentralvenöser Zugänge. Weiterbildungsveranstaltung, Abteilung IV, Klinik für Innere Medizin; Friedrich-Schiller-Universität, Jena, 12.12.2002
11. Schummer W. Zentraler Venenkatheter – Techniken, Fehler, Komplikationen. Fortbildungsveranstaltung Südharz-Krankenhaus Nordhausen, Nordhausen, 16.02.2003
12. Schummer W. Besonderheiten und mögliche Komplikationen bei der Anlage von zentralvenösen und arteriellen Kathetern. KAI: Weiterbildungsveranstaltung, Jena, 20.03.2003
13. Schummer W. Fallvorstellung einer Puerperalsepsis. Intensivmedizinischer Workshop – Gynäkologische Infektionen, Berlin, 14.03.-15.-03.2003
14. Schummer W. Komplikationen bei der Anlage von zentralvenösen Kathetern. Fortbildungsveranstaltung Zentralklinik Emil von Behring, Berlin, 02.07.2003
15. Schummer W. Zentrale Venenzugänge. Summer School Regionalanästhesie, Jena, 08.09.2003
16. Schummer W. Etablierte Beatmungsstrategien. Intensivmedizinischer Workshop – Schwere untere Atemwegsinfektionen, Berlin, 31.10.-01.11.2003



17. Schummer W. Zwei Kasuistiken aus der Intensivstation. Intensivmedizinischer Workshop – Schwere untere Atemwegsinfektionen, Berlin, 31.10.-01.11.2003
18. Schummer W. Anästhesiologische Besonderheiten bei "akutem Abdomen". Weiterbildungskurs der Foundation for European Education in Anaesthesiology, Magdeburg, 04.12.-06.12.2003
19. Schummer W. Frühstücksseminar: Besonderheiten und mögliche Komplikationen bei der Anlage zentraler Venenkatheter. Seminarkongress Anästhesiologie, Garmisch-Partenkirchen, 7.-12.03.2004
20. Schummer W. Besonderheiten und mögliche Komplikationen bei der Anlage von zentralnervösen und arteriellen Kathetern. Weiterbildungsveranstaltung, Waldklinikum Gera, 26.04.2004
21. Schummer W. Alternative Behandlungskonzepte: ECMO – aktuelle Behandlungsstrategien anhand einer Kasuistik. Intensivmedizinischer Workshop – Schwere Pneumonien im Intensivbereich, Berlin, 15.05.-16.05.2004
22. Schummer W. Zwei Kasuistiken aus der Intensivstation. Intensivmedizinischer Workshop – Schwere Pneumonien im Intensivbereich, Berlin, 15.05.-16.05.2004
23. Schummer W. Zwei Kasuistiken von der ITS. Intensivmedizinischer Workshop – Schwere Infektionen im Intensivbereich – Community acquired pneumonia, Berlin, 25/26.06.2004
24. Schummer W. Zentrale Venenzugänge. Summer School Regionalanästhesie, Jena, 08.09.2004
25. Schummer W. Besonderheiten und mögliche Komplikationen bei der Anlage von zentralen Venenkathetern. 15. Anästhesiegespräch, Veste Wachsenburg, 11.09.2004
26. Schummer W. Zentralvenöse Zugänge/Einsatz von Ultraschall. Weiterbildungskurs der Foundation for European Education in Anaesthesiology, Jena, 16.09.-18.09.2004
27. Schummer W. Gefäßpunktion und Ultraschall. Strategiemeeting Ultraschall für Regionalanästhesie und Gefäßpunktion, Frankfurt a. M., 28.09.2004
28. Schummer W. Anti-infektiös beschichtete zentrale Venenkatheter – was ist gesichert. 7. Deutscher Interdisziplinärer Kongress für Intensivmedizin und Notfallmedizin, Hamburg, 01.-03.12.2004
29. Schummer W. Zentrale Venenkatheter: Lagen, Fehllagen, Komplikationen. Internationales Symposium für Anästhesie, Intensivtherapie, Notfallmedizin, Schmerztherapie, St. Anton, 23.01.2005
30. Schummer W. Probleme und Entwicklungen bei zentralen Gefäßzugängen. 2nd International Congress: Sepsis and multiorgan dysfunction, Weimar, 07.09.2005
31. Schummer W. Anästhesiologische Besonderheiten bei "akutem Abdomen". Weiterbildungskurs der Foundation for European Education in Anaesthesiology, Dresden, 30.09.2005
32. Schummer W. Aspirationspneumonie. Intensivmedizinischer Workshop – Schwere untere Atemwegsinfektionen, Berlin, 21.10.-22.10.2005

33. Schummer W. Zentrale Venenkatheter, Anatomie und Ultraschall. Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie, Fortbildungsveranstaltung Städtisches Klinikum Dresden-Neustadt, 26.10.2005
34. Schummer W: Zentrale Venenkatheter, Anatomie und Ultraschall. Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie, Fortbildungsveranstaltung Städtisches Krankenhaus Martha-Maria Halle-Dölau, 08.03.2006
35. Schummer W: Infektiologischer Workshop: Schwerkranke und Infektionen - Pneumonie, pädiatrische Infektionen, multiresistente Erreger und neue Antibiotika, Berlin, 30.11. - 02.12.2006

## **12.4 GUTACHTERTÄTIGKEIT FÜR PUBLIKATIONEN**

- Journal of Clinical Anesthesia
- Acta Anaesthesiologica Scandinavica
- Clinical Anatomy
- American Journal of Obstetrics and Gynecology
- British Journal of Anaesthesia
- Medical Science Monitor

## **12.5 BUCHBEITRÄGE UND ANDERES**

- ZVK-Handout
- Schummer W, Schummer C: Gefäßzugänge In: Van Aken et al. (Hrsg.): Intensivmedizin, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 2006: 92-99

**13.**

---

## **LEHRVERANSTALTUNGEN**

**SS 1997**

Neurologische Lehr-Intensiv-Visite, FSU Jena: Do. 14:00-15:00

**WS 1997**

Neurologische Lehr-Intensiv-Visite, FSU Jena: Do. 14:00-15:00

**SS 1998**

Neurologische Lehr-Intensiv-Visite, FSU Jena: Do. 14:00-15:00 Uhr

**WS 1998**

Neurologische Lehr-Intensiv-Visite, FSU Jena: Do. 14:00-15:00 Uhr

**SS 2000**

Neurologische Lehr-Intensiv-Visite, Hamburg-Eppendorf: Di./Do. 15:00-16:00 Uhr

Intensivmedizinische Topics, Hamburg-Eppendorf: Mi. 13:00-14:00 Uhr

**WS 2000**

Neurologische Lehr-Intensiv-Visite, Hamburg-Eppendorf: Di./Do. 15:00-16:00 Uhr

Intensivmedizinische Topics, Hamburg-Eppendorf: Mi. 13:00-14:00 Uhr

**SS 2001**

Neurologische Lehr-Intensiv-Visite, Hamburg-Eppendorf: Di./Do. 15:00-16:00 Uhr

Intensivmedizinische Topics, Hamburg Eppendorf: Mi. 13:00-14:00 Uhr

**SS 2002**

Klinisches Seminar/Journal Club, FSU Jena: Do. 16:00-17:15 Uhr

Grundlagen und Einführung in die Anästhesiologische Praxis, FSU Jena, Mi. 16:45-18:15 Uhr

Praktische Ausbildung von Studenten im Praktischen Jahr und Studenten im OP

ZVK-Seminar (für Interessierte): Komplikationen – Anatomie & Ultraschall – Lagekontrollverfahren

**WS 2002**

Klinisches Seminar/Journal Club, FSU Jena: Do. 16:00-17:15 Uhr

Grundlagen und Einführung in die Anästhesiologische Praxis, FSU Jena, Mi.  
16:45-18:15 Uhr

Praktische Ausbildung von Studenten im Praktischen Jahr und Studenten im  
OP

ZVK-Seminar (für Interessierte): Komplikationen – Anatomie & Ultraschall –  
Lagekontrollverfahren

### **SS 2003**

Klinisches Seminar/Journal Club, FSU Jena: Do. 16:00-17:15 Uhr

Grundlagen und Einführung in die Anästhesiologische Praxis, FSU Jena, Mi.  
16:45-18:15 Uhr

Praktische Ausbildung von Studenten im Praktischen Jahr und Studenten im  
OP

ZVK-Seminar (für Interessierte): Komplikationen – Anatomie & Ultraschall –  
Lagekontrollverfahren

### **WS 2003**

Klinisches Seminar/Journal Club, FSU Jena: Do. 16:00-17:15 Uhr

Grundlagen und Einführung in die Anästhesiologische Praxis, FSU Jena, Mi.  
16:45-18:15 Uhr

Herz-Thorax-Gefäßchirurgie: Intensiv-Lehrvisite FSU Jena: tgl.: 8:00-8:30 Uhr

Praktische Ausbildung von Studenten im Praktischen Jahr und Studenten im  
OP

ZVK-Seminar (für Interessierte): Komplikationen – Anatomie & Ultraschall –  
Lagekontrollverfahren

### **SS 2004**

Klinisches Seminar/Journal Club, FSU Jena: Do. 16:00-17:15 Uhr

Grundlagen und Einführung in die Anästhesiologische Praxis, FSU Jena, Mi.  
16:45-18:15 Uhr

Herz-Thorax-Gefäßchirurgie: Intensiv-Lehrvisite FSU Jena: tgl.: 8:00-8:30 Uhr

Praktische Ausbildung von Studenten im Praktischen Jahr und Studenten im  
OP

ZVK-Seminar (für Interessierte): Komplikationen – Anatomie & Ultraschall –  
Lagekontrollverfahren

### **WS 2004**

Herz-Thorax-Gefäßchirurgie: Intensiv-Lehrvisite FSU Jena: tgl.: 8:00-8:30 Uhr

Praktische Ausbildung von Studenten im Praktischen Jahr und Studenten im OP

ZVK-Seminar (für Interessierte): Komplikationen – Anatomie & Ultraschall – Lagekontrollverfahren

### **SS 2005**

Herz-Thorax-Gefäßchirurgie: Intensiv-Lehrvisite FSU Jena: tgl.: 8:00-8:30 Uhr

Praktische Ausbildung von Studenten im Praktischen Jahr und Studenten im OP

ZVK-Seminar (für Interessierte): Komplikationen – Anatomie & Ultraschall – Lagekontrollverfahren

### **WS 2005**

Praktische Ausbildung von Studenten im Praktischen Jahr und Studenten im OP

ZVK-Seminar (für Interessierte): Komplikationen – Anatomie & Ultraschall – Lagekontrollverfahren

### **SS 2006**

Praktische Ausbildung von Studenten im Praktischen Jahr und Studenten im OP

Lehrvisite auf der operativen Intensivstation 1

ZVK-Seminar (für Interessierte): Komplikationen – Anatomie & Ultraschall – Lagekontrollverfahren

Seminar Themenblock: Perioperative Medizin: Geburtshilfliche Anästhesie

**14.**

---

## **MITBETREUUNG VON DISSERTATIONSARBEITEN**

## 14.1 LAUFENDE PROMOTIONEN

Yvonne Walter	Die Vena jugularis interna – gibt es einen Unterschied der Durchmesser und Flächen zwischen rechts und links? (Betreuer: Meier-Hellmann, A; Schummer, W)
Hendrik Gerstenberg	Prospektive Untersuchung zentralvenöser Punktionen bei Intensivpatienten: Fehllagen und Komplikationen bei erfahrenen Punkteuren. (Betreuer: Meier-Hellmann, A; Schummer, W)
Heike Tuppatsch	Vergleich ultraschallgestützte zentralvenöse Punktionen: Doppler versus B-Bild; Umfrage zur Anwendung von ultraschallgestützten zentralvenöse Punktionen in deutschen Kliniken. (Betreuer: Reinhart, K; Schummer, W)
Eva Hoffmann	Welchen Stellenwert besitzen die Carina und das intravasale EKG für die korrekte Lage eines zentralvenösen Katheters?". (Betreuer: Reinhart, K; Schummer, W)
Sabine Trommer	Mechanische Eigenschaften von Seldingerdrähten und damit verbundene Komplikationsmöglichkeiten bei der Anlage Zentraler Venenkatheter. (Betreuer: Reinhart, K; Schummer, W)
Melanie Wirsing	Zentralvenöse Katheterisierung: Evaluation von 200 herzchirurgischen Patienten mittels TEE , Vergleich der Befunde mit der postoperativen Röntgenaufnahme, Befundung durch zwei Radiologen. (Betreuer: Reinhart, K; Schummer, W)
Jens Kästner	Verlauf der arteriovenösen CO <sub>2</sub> -Differenz als Prognosefaktor – Vergleich mit SvO <sub>2</sub> , ScvO <sub>2</sub> und Herzzeitvolumen. (Betreuer: Bauer, M; Schummer, W)
Theresa Jünemann	Untersuchung der ZVK-Lage bei beatmeten Patienten -Bestimmung der Positionsveränderungen mittels EKG-Methode und Röntgen. (Betreuer: Hüttemann, E; Schummer, W)
Jessica Leitsmann	Fehllagerisiko zentralvenöser Katheter gelegt mittels der EKG-Methode bei nicht beatmeten Patienten - evaluiert mit Hilfe Röntgen-Thorax im Stehen. (Betreuer: Hüttemann, E; Schummer, W)



Jan Köditz	Ökonomische Aspekte der Anwendung ultraschallgestützter V. jugularis interna Punktionen. (Betreuer: Hüttemann, E; Schummer, W)
Manuel Struck	Evaluierung von Formeln zur Bestimmung der Einführtiefe zentraler Venenkatheter über die V. jugularis interna. (Betreuer: Reinhart, K; Schummer, W)

## **14.2 ABGESCHLOSSENE PROMOTIONEN**

Susanne Herrmann	Prospektive Studie zur Lagekontrolle von Venenkathetern beim Kardiochirurgischen Patientengut. (Betreuer: Reinhart, K; Schummer, W)
------------------	--

**15.**

---

**PUBLIKATIONEN DER HABILITATIONSSCHRIFT**

- I. Intra-atrial ECG is not a reliable method for positioning left internal jugular vein catheters.
- II. Implication of the anatomy of the pericardial reflection on positioning of central venous catheters. J Cardiothorac Vasc Anesth 20:777-80.
- III. ECG-guided central venous catheter positioning: does it detect the pericardial reflection rather than the right atrium? Eur J Anaesthesiol 21:600-605.
- IV. Central venous catheters--the inability of 'intra-atrial ECG' to prove adequate positioning. Br J Anaesth 93:193-198.
- V. Extravasal Position of Central Venous Catheters Despite Unsuspicious ECG-Guidance Lässt sich eine extravasale Lage von zentralen Venenkathetern bei korrekter EKG-Ableitung ausschließen?.....42
- VI. Optimierte Positionierung zentraler Venenkatheter durch eine modifizierte Anwendung der intravasalen Elektrokardiographie Validierung mithilfe der transösophagealen Echokardiographie. Anaesthesist 54:983-90.

I.

---

Schummer W, Herrmann S, Schummer C, Funke F,  
Steenbeck J, Fuchs J, Uhlig T, Reinhart K (2003)

Intra-atrial ECG is not a reliable method for  
positioning left internal jugular vein catheters.

**Br J Anaesth** 91:481-486

## Intra-atrial ECG is not a reliable method for positioning left internal jugular vein catheters

W. Schummer<sup>1\*</sup>, S. Herrmann<sup>2</sup>, C. Schummer<sup>1</sup>, F. Funke<sup>3</sup>, J. Steenbeck<sup>4</sup>, J. Fuchs<sup>1</sup>,  
T. Uhlig<sup>1</sup> and K. Reinhart<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, <sup>2</sup>Department of Neonatology and Pediatric Intensive Care Medicine, <sup>3</sup>Institute of Psychology, and <sup>4</sup>Institute of Diagnostic and Interventional Radiology, Friedrich-Schiller-University of Jena, Bachstrasse 18, D-07743 Jena, Germany

\*Corresponding author. E-mail: cwschummer@gmx.de

**Background.** ECG guidance is widely used for positioning central venous catheters (CVCs) in the superior vena cava. We noticed a higher incidence of a more perpendicular angle between the catheter tip and the vessel wall after left-sided ECG-guided catheter positioning. To investigate the value of left-sided ECG guidance, we performed this prospective study.

**Methods.** Of 114 patients, 53 were randomized to right and 61 to left internal jugular vein catheterization using a triple lumen catheter. Three methods to ascertain catheter tip position were sequentially applied in each patient, and the insertion depths (ID) obtained using each of the three methods were recorded: (i) ECG guidance with a Seldinger guide wire (ID-A); (ii) ECG guidance with saline 10% used as an exploring electrode (ID-B); (iii) from position ID-B, the catheter was rotated and advanced until all three lumina could be aspirated easily. The catheter was fixed in that position (ID-C). To determine final catheter tip position, intraoperative transoesophageal echocardiography (TOE) and a postoperative chest X-ray (CXR) were performed.

**Results.** The depth of insertion of a catheter using the three methods varied significantly in left-sided ( $P < 0.001$ ), but not in right-sided catheters. Forty-eight of 57 (84%) left-sided CVCs, correctly positioned according to ECG guidance, had to be advanced further to achieve free aspiration through all three lumina. By this stage, five of the catheter tips had been positioned in the upper right atrium as demonstrated by TOE. There were 13 malpositions (23%) after left-sided insertion. In nine catheter malpositions, undetected by ECG guidance, the angle between the catheter tip and the lateral wall of the superior vena cava exceeded 40° on CXR.

**Conclusions.** Intra-atrial ECG does not detect the junction between the superior vena cava and right atrium. It is not a reliable method for confirming position of left-sided CVCs. Post-procedural CXRs are recommended for left-sided, but not right-sided CVCs.

*Br J Anaesth* 2003; **91**: 481–6

**Keywords:** heart, catheterization; measurement techniques, echocardiography, transoesophageal; monitoring, electrocardiography; veins, jugular

Accepted for publication: June 11, 2003

Central venous catheterization is indispensable in the practice of acute medicine. About six million central venous catheters (CVCs) are placed annually in the USA and about 200 000 per year in the UK.<sup>1,2</sup> At our 1350 bed university hospital, about 7500 CVCs are placed each year. Central venous catheterization may be associated with potentially fatal complications. Certain complications such as vessel perforation are related to tip position. In an editorial

published in 2000 in the *British Journal of Anaesthesia*, the conclusion was drawn that any tip position can result in serious complications and that there is a lack of good evidence on which to base practice.<sup>3</sup> The catheter tip should be placed in as large a vein as possible, ideally outside the heart and parallel with the long axis of the superior vena cava, such that the tip does not abut the vein or heart wall. An impingement angle between the catheter and vessel wall

**Table 1** Patient characteristics in the two groups. Group R: right internal jugular vein approach; Group L: left internal jugular vein approach. A needle pass is defined as one attempt at advancing the cannula. Data are mean (SD)

	Group R	Group L
Sex (M/F)	41/12	41/20
Age (yr)	62.2 (12.2)	64.6 (16.2)
Height (cm)	171.0 (8.0)	169.9 (9.2)
Weight (kg)	77.8 (12.0)	82.1 (16.2)
BMI (kg m <sup>-2</sup> )	26.6 (3.3)	28.3 (4.8)

of  $>40^\circ$  increases the risk of superior vena cava perforation, one of the most dangerous complications of CVC.<sup>4</sup> Schuster and colleagues<sup>5</sup> published a radiological/anatomical study concluding that CVC tips should be located in the superior vena cava above the level of the carina, in order to avoid cardiac tamponade.

Nowadays, ECG-guided CVC-placement is considered to be a useful and safe method to ensure extra-atrial catheter tip position.<sup>4</sup> In patients in our intensive care unit, we noticed a high incidence of critical catheter tip positions (angle  $>40^\circ$ ) in left-sided CVCs placed by means of ECG guidance. Therefore, we designed a study to compare CVC positioning via the right (Group R) and left internal jugular vein (Group L). Two methods of ECG-guidance were tested. The catheter was then advanced and rotated until free aspiration of venous blood through all lumina was possible. The final position of the CVC tip was determined by a transoesophageal echocardiogram (TOE) and postoperative portable chest X-ray (CXR). Our hypothesis was that ECG-guidance is not a suitable tool for correct placement of left-sided CVCs.

## Materials and methods

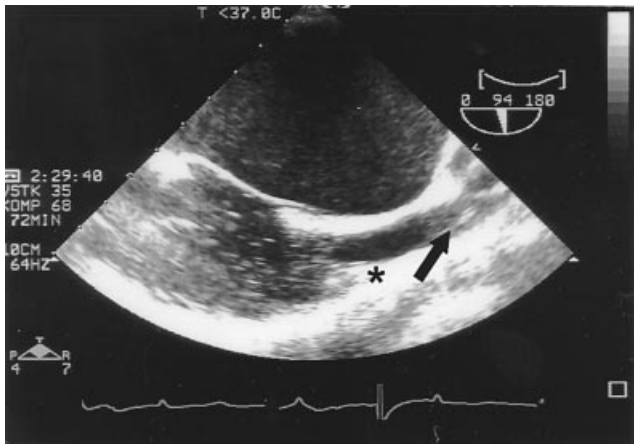
The study protocol was approved by the local ethics committee. This prospective, randomized, single-centre study was performed in the section for cardiothoracic and vascular anaesthesia of a university hospital. Patients undergoing cardiac surgery were eligible for the study, which ran from May–August 2002. For this type of surgery, CVC placement and TOE monitoring is routine at our institution. After surgery, all patients were admitted to the intensive care unit and a CXR was taken. Exclusion criteria were ECG rhythms other than sinus rhythm after induction of anaesthesia, or a contraindication to TOE (e.g. gastric or oesophageal pathology or surgery). Patient characteristics recorded were age, sex, weight and height, as well as the type of surgery and the number of attempts to insert the cannula (Table 1). One anaesthetist placed all the CVCs.

For randomization, computer-generated numbers were used. The patients were assigned to the right (Group R) or left internal jugular vein approach (Group L). In each patient, three methods to determine the catheter tip position were sequentially applied: (i) ECG guidance using the Seldinger guide wire (Method A); (ii) ECG guidance using a hypertonic saline fluid column in the catheter (Method B);

and (iii) from this position the catheter was then alternately rotated and incrementally advanced until all three lumina could be aspirated easily (Method C). Clinical testing of blood flow from each port of the catheter is important to allow safe drug administration without delay under the low flow conditions after cardiopulmonary bypass. Advancement of the CVC was done to improve its function and to avoid abutting the lateral wall of the superior vena cava with the catheter tip.

The final position of all CVC tips was checked intraoperatively by TOE, and after surgery by portable CXR. The correct position of the catheter tip was considered to be in the superior vena cava or at the superior vena cava-right atrial junction and parallel ( $<40^\circ$ ) to the superior vena cava wall, according to CXR and TOE. Malposition was considered to be a catheter tip placed in a vein other than the superior vena cava, or if the tip abutted the vein or heart wall at an angle  $>40^\circ$ .

After induction of general anaesthesia, patients were put into the 20° Trendelenburg position for CVC insertion. The right (RIJV) or left internal jugular vein (LIJV), respectively, was punctured midway between the mastoid process and the sternal notch, just lateral to the carotid artery pulsation. The vein was entered using a sterile Seldinger technique, the guide wire was advanced and a triple lumen polyurethane CVC was introduced (Certofix® Trio SB 730, length 30 cm, 7 French). The kit includes a connection cable with a crocodile clip for connecting the guide wire to a Certodyn® universal adaptor (both B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Germany). First, the guide wire was used as an unipolar electrode. A black marking on the proximal end of the guide wire indicates the point at which the tip of the wire is just level with the port of the distal catheter lumen. The sterile connection cable was clamped to the guide wire at the marked position in order to connect it to the adaptor that allows the operator to switch from a surface to an intravascular ECG. The catheter was then advanced, together with the guide wire, until an increase in P-wave size was detected. Both catheter and guide wire were then withdrawn until the P-wave returned to normal size. Markings on the catheter allowed the measurement of its depth of insertion (ID-A). The guide wire was then removed and the same procedure was repeated with the distal lumen filled with saline 10% using an Alphacard® (an electrical-conductive syringe with a cable and a cable joint for connection to the Certodyn® universal adaptor, B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Germany). The electrically conductive liquid in the venous catheter lumen served as the intravascular electrode in this procedure (saline 10% has a higher conductive capacity than normal saline).<sup>6</sup> The insertion depth was recorded again (ID-B). Then all three lumina of the catheter were tested for free back flow of venous blood. If there was any difficulty in aspirating venous blood, the catheter was rotated by up to  $360^\circ$ . If problems persisted, the catheter was advanced by 1 cm. The whole procedure of aspiration, and turning and advancing



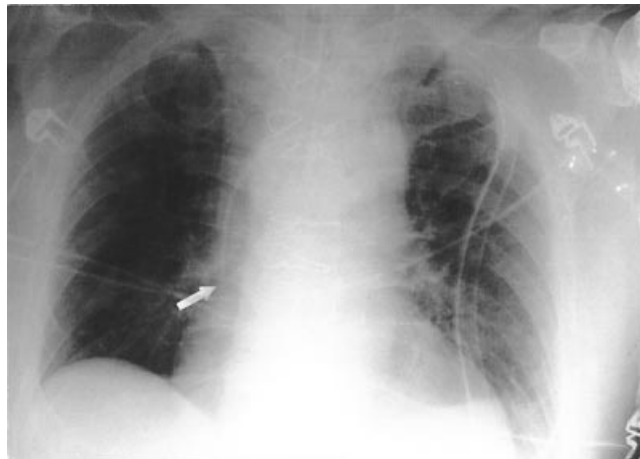
**Fig 1** The echocardiographic superior vena cava-right atrial (SVC-RA) junction was defined as the base of the superior edge of the crista terminalis (\*). The catheter tip was usually identified as two closely spaced, parallel, bright echodense lines surrounding the darker fluid-filled lumen. Rapid flush of cephazolin 2 g in 20 ml normal saline was used to identify the distal end of the CVC by TOE (arrow). The microbubbles of the solution act as contrast medium.

the catheter was repeated until no difficulty in aspirating the lumina was detected. At this position, the catheter was sutured to the skin, and the final insertion depth was recorded (ID-C).

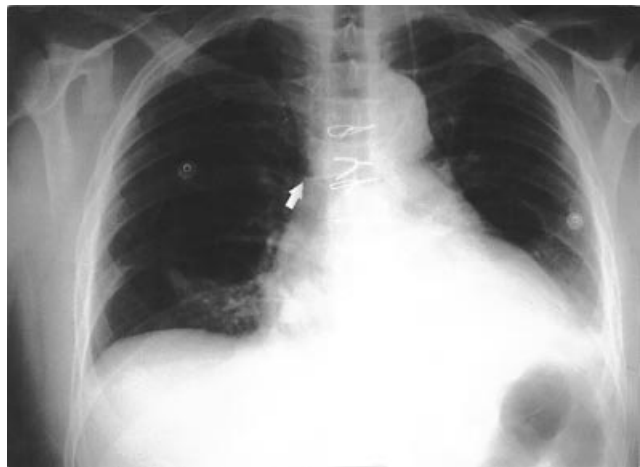
After placing and testing the CVC, the TOE probe (multiplane probe, 6.2 MHz/HP Sonos 5500, Philips, Andover, MA, USA) was inserted to a midesophageal position and rotated to the right (clockwise). Then the plane of the probe was turned to an angle of 90–110° to produce a bicaval view according to the American Society of Echocardiography/Society of Cardiovascular Anesthesiologists (ASE/SCA) guidelines.<sup>7</sup> The echocardiographic correlate of the superior vena cava-right atrial (SVC-RA) junction was defined as the base of the superior edge of the crista terminalis.<sup>8,9</sup>

A rapid flush of cephazolin 2 g in 20 ml normal saline (given for perioperative antibiotic prophylaxis) was used to identify the distal end of the CVC by TOE (Fig. 1). The microbubbles of the solution acted as contrast medium and helped to identify the catheter tip position in the superior vena cava. The catheter tip was usually identified as two closely spaced, parallel, bright echodense lines surrounding the darker fluid-filled lumen. The relationship of the CVC to the crista terminalis was recorded as a benchmark for the insertion depth. A second anaesthetist, blinded to the insertion depths of the CVCs, performed all the TOE examinations.

Within 3 h of surgery, a portable CXR was taken. The radiographic SVC-RA junction was defined as the apex of the concave shadow formed by the superimposition of the distal superior vena cava on the right atrium.<sup>10,11</sup> The catheter position was determined by a radiologist, also blinded to the study on CVC insertion. Figures 2 and 3 show examples of correctly and poorly positioned catheters. The



**Fig 2** Chest x-ray with correctly positioned CVC. Catheter tip marked with an arrow.



**Fig 3** Chest x-ray with incorrectly positioned CVC. The catheter tip (arrow) abuts the wall of the superior vena cava at a steep angle of ~90°.

Patient Archiving and Communication System (PACS) (Image Devices GmbH, Idstein, Germany) was used to view the digital images of the CXRs. The angle between the distal catheter and the lateral wall of the superior vena cava was quantified using this viewing software.

### Statistics

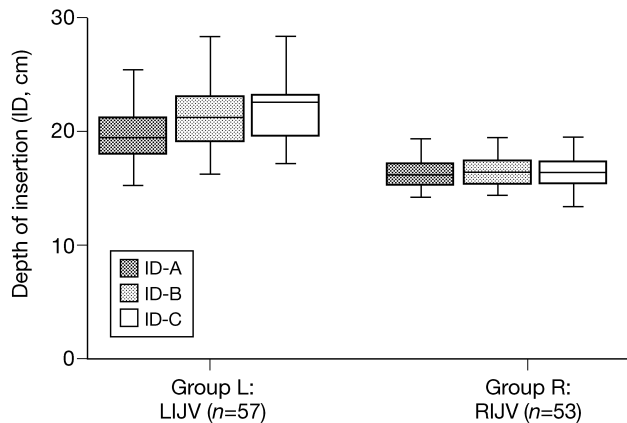
Statistical analysis was performed using SPSS 11.0 under Windows XP. Data are expressed as mean (SD). Comparison between the ECG-guided methods with respect to correct positioning of the CVC tip was performed using MANOVA. For comparison of the ECG guided methods and CXR, a binomial test was applied.

### Results

Of the 120 patients entered into the study, 114 had data that could be analysed completely. Two patients could not be

**Table 2** Results of TOE and CXR assessment of catheter tip position in Group R and Group L (bad angle:  $>40^\circ$  with superior vena cava)

	Group R ( <i>n</i> =53)		Group L ( <i>n</i> =57)	
	CVC advanced	CVC not advanced	CVC advanced	CVC not advanced
TOE: Tip in right atrium	9	44	48	9
CXR: Bad angle	0	0	5	0
	0	0	5	4

**Fig 4** The depth of insertion (ID, cm) is illustrated in boxplots (including minimum, lower quartile, median, upper quartile and maximum of the data, the box highlights the data from the lower to the upper quartile). ID-A=Seldinger guide wire acting as exploring electrode; ID-B=saline 10% acting as exploring electrode; ID-C=after testing all lumina for free back flow of venous blood. Group R: right internal jugular vein approach (*n*=53); Group L: left internal jugular vein approach (*n*=57).

analysed because of loss of sinus rhythm after induction of anaesthesia. After CVC-placement, a TOE investigation could not be obtained in three patients for logistic reasons, and there was failure of the Alphacard<sup>®</sup>-system in one patient.

Fifty-three CVCs were inserted through the RIJV (Group R), and 61 through the LIJV (Group L). There were 13 malpositions, all of which occurred in Group L. Four aberrant catheter positions (one in the azygos vein, and three in right innominate vein) were detected by the intravascular ECG (Method A). After being correctly positioned, these cases were not included in further analysis. The depths of insertion of 57 of the catheter tips in Group L and 53 in Group R were analysed. Chest radiography revealed nine left-sided catheters with an impingement angle of more than  $40^\circ$  to the superior vena cava, but none in Group R (Table 2).

In Group R, the depth of insertion did not differ significantly between the three methods of determining the correct catheter tip position. The mean (SD) depth of insertion with method A (ID-A) was 16.1 (1.4) cm, with method B, 16.1 (1.4) cm, and with method C, 16.3 (1.4) cm (Fig. 4). Nine of the 53 (17%) CVCs in Group R had to be advanced towards the right atrium to obtain free venous back flow through all lumina; using TOE, none was found to be in the right atrium (Table 2).

In Group L, the depth of insertion differed significantly between the three methods of determining correct catheter tip position ( $P<0.001$ ). The mean (SD) depth of insertion with method A (ID-A) was 19.7 (2.4) cm, with method B, 20.9 (2.7) cm, and with method C, 21.6 (2.6) cm (Fig. 4). Forty-eight of 57 CVCs (84%) in Group L had to be advanced further towards the right atrium because venous back flow through all three lumina was not adequate. Only five of these catheter tips were found to be malpositioned 1 cm distal to the crista terminalis, in the right atrium. Of the remaining nine CVCs in Group L that were not advanced, none was found by TOE to be in the right atrium, but four were found on CXR to have the catheter tip positioned at an angle  $>40^\circ$  ( $43^\circ$ ,  $46^\circ$ ,  $61^\circ$ ,  $75^\circ$ ) to the lateral wall of the superior vena cava (Table 2).

## Discussion

The main finding of our study is that ECG guidance does not reliably lead to correct catheter positioning when using the left jugular vein approach. 'Intra-atrial' ECG does not detect the junction between the superior vena cava and right atrium. In contrast, TOE is useful for determining whether or not a CVC enters the right atrium. Furthermore, a CXR is helpful to determine whether a catheter runs parallel to the long axis of the superior vena cava.

ECG-guided CVC-placement claims to detect the intra-atrial position of the tip of CVCs by detecting an intra-atrial P-wave (P-atriale) with the exploring electrode. The adjacent atrial wall tissue is thought to be responsible for the increase in voltage of the P-atriale.<sup>3,6</sup> It is traditionally thought that either of the two methods using the catheter tip as an unipolar electrode produce similar results: an intraluminal wire or an electrolyte solution.<sup>12,13</sup> Lack of an increase in P-wave size indicates aberrant catheter placement in vessels other than the superior vena cava.<sup>6,14,15</sup>

In our study, TOE served as the gold standard in assessing final CVC position with respect to the right atrium. In all patients where the CVC is visible below the entrance of the azygos vein into the superior vena cava, the tip of the CVC can be localized by TOE. The multiplane probe used allowed a three-dimensional assessment of catheter position in relation to the right atrium and superior vena cava without changing the transducer position.

ECG guidance led to correct positioning of all 53 CVCs inserted via the RIJV. In right-sided catheters, the three methods used to guide CVC placement (intraluminal wire



(A) or fluid column (B), as well as the clinical test of free venous back flow (C)) all led to a similar insertion depth. No catheter tip with an angle  $>40^\circ$  to the vessel wall was detected on CXR.

In contrast to Group R, there were 13 out of 57 malpositions (23%) in Group L, nine with an angle  $>40^\circ$ , and four in aberrant vessels. Also in Group L, the depths of insertion differed significantly between the two methods for ECG guidance (ID-A, ID-B), most likely attributable to the anatomy of the neck and upper thorax. Compared with the straight course of a CVC inserted via the RIJV, a catheter inserted through the LIJV is distorted by two curves of up to  $90^\circ$  (the left internal jugular into the left innominate vein, and the left innominate vein into the superior vena cava). After removing the guide wire, the catheter will float more freely and follow the curves, resulting in a longer distance between the catheter-tip position and the right atrium. This would explain the need to advance fluid filled CVCs further. Additionally, a small, but statistically significant difference was found between ID-B and ID-C in Group L ( $P<0.001$ ). This finding demonstrates that a considerable percentage of left-sided CVCs placed by ECG guidance abut or impinge on the lateral vessel wall.

The five CVCs advanced into the right atrium Group L, which were found to be beyond the base of the crista terminalis, entered the atrium by only 1 cm. The need to advance some of these catheters into the right atrium may be related to the varying length of the superior vena cava. We agree with the opinion that a catheter withdrawn to a position where no 'intra-atrial' ECG can be recorded, is located outside the heart.<sup>6</sup> Given the large number of catheters advanced further than indicated by ECG guidance in this study, one would have expected a far higher incidence of intra-atrial CVCs. This suggests that the 'intra-atrial' ECG is not detecting the right atrium accurately. Our data support the view that the 'intra-atrial' ECG is in fact detecting the pericardial reflection since the pericardium is a fluid filled sac (important for electrical conductance), and there is no other anatomical structure beyond it to explain our findings. Therefore, we believe that catheters placed under ECG guidance are generally located outside of the pericardium, rather than outside the right atrium.

It remains a matter of debate whether positioning a catheter tip in the upper right atrium is appropriate.<sup>3,16</sup> But there is agreement that if a patient is exposed to the risk of central venous cannulation, the catheter has to function correctly. In clinical practice, we therefore accept catheter tip positions in the upper right atrium. *In vitro* and *in vivo* studies have shown that an acute angle of  $>40^\circ$  to the wall of the superior vena cava results in a markedly increased risk of vessel perforation.<sup>17</sup> From a clinical point of view, there is no doubt that a CVC tip should not abut a vessel wall. The significance of this problem increases with the stiffness of the catheter and becomes higher when haemodialysis catheters are used.<sup>18–22</sup>

A limitation of our study is the time delay between CVC insertion, TOE assessment and the final position check by postoperative CXR. We cannot exclude catheter migration attributable to surgical manipulations. While portable CXR does not reliably detect whether a CVC enters the right atrium, it is nevertheless helpful in determining catheter tip position.<sup>23</sup> Despite our placement procedure of advancing the tip to guarantee adequate flow, chest radiography revealed nine catheters—all left-sided—with an impingement angle  $>40^\circ$  to the superior vena cava (Table 2). Forty-eight of the 57 catheters in Group L (84%) were advanced towards the right atrium in order to achieve free venous back flow through all lumina. Of these 48 catheters, only five were found to be placed at a poor angle (10%). Nine left-sided CVCs were not advanced. Four of these were positioned incorrectly with respect to the angle with the wall of the superior vena cava (44%).

In many hospitals, ECG guidance for CVC placement has replaced a post-insertion CXR to check its position. In Germany (this situation may be different in other countries), from a legal point of view, ECG guidance is equivalent to a CXR.<sup>24</sup> Unless the subclavian vein had been punctured or the procedure has proved difficult, post-insertion CXR is considered superfluous if the CVC has been placed with ECG guidance. From our results, this practice is not acceptable with left-sided catheters, when a post-insertion CXR is needed.

## References

- 1 Collier PE, Blocker SH, Graff DM, et al. Cardiac tamponade from central venous catheters. *Am J Surg* 1998; **176**: 212–4
- 2 Waghorn DJ. Intravascular device-associated systemic infections: a 2 year analysis of cases in a district general hospital. *J Hosp Infect* 1994; **28**: 91–101
- 3 Fletcher SJ, Bodenham AR. Safe placement of central venous catheters: where should the tip of the catheter lie? *Br J Anaesth* 2000; **85**: 188–91
- 4 Scott WL. Complications associated with central venous catheters. A survey. *Chest* 1988; **94**: 1221–4
- 5 Schuster M, Nave H, Piepenbrock S, et al. The carina as a landmark in central venous catheter placement. *Br J Anaesth* 2000; **85**: 192–4
- 6 McGee WT, Ackerman BL, Rouben LR, et al. Accurate placement of central venous catheters: a prospective, randomized, multicenter trial. *Crit Care Med* 1993; **21**: 1118–23
- 7 Shanewise JS, Cheung AT, Aronson S, et al. ASE/SCA guidelines for performing a comprehensive intraoperative multiplane transesophageal echocardiography examination: recommendations of the American Society of Echocardiography Council for Intraoperative Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force for Certification in Perioperative Transesophageal Echocardiography. *Anesth Analg* 1999; **89**: 870–84
- 8 Nanda NC, Domanski HJ. Normal anatomy. In: *Atlas of Transoesophageal Echocardiography*. Baltimore: Williams and Wilkins, 1998; 1–5
- 9 Nanda NC, Domanski HJ. Superior vena cava and right atrium.

- In: *Atlas of Transoesophageal Echocardiography*. Baltimore: Williams and Wilkins, 1998; 36–8
- 10 Wunderbaldinger P. ['Tubes and lines' in thoracic radiography: malpositioning and complications]. *Wien Med Wochenschr* 2001; **151**: 524–31
  - 11 Trigaux JP, Goncette L, Van Beers B, et al. Radiologic findings of normal and compromised thoracic venous catheters. *J Thorac Imaging* 1994; **9**: 246–54
  - 12 Michaelis G, Biscopig J, Hempelmann G. Die Platzierung des zentralvenösen Katheters unter EKG-Kontrolle. *Anasth Intensivmed* 1988; **30**: 272–8
  - 13 Corsten SA, van Dijk B, Bakker NC, et al. Central venous catheter placement using the ECG-guided Cavafix-Certodyn SD catheter. *J Clin Anesth* 1994; **6**: 469–72
  - 14 Lumb PD. Complications of central venous catheters. *Crit Care Med* 1993; **21**: 1105–6
  - 15 Wilson RG, Gaer JA. Right atrial electrocardiography in placement of central venous catheters. *Lancet* 1988; **1**: 462–3
  - 16 Polderman KH, Girbes AJ. Central venous catheter use. Part I: mechanical complications. *Intensive Care Med* 2002; **28**: 1–17
  - 17 Blackshear RH, Gravenstein N. Critical angle of incidence for delayed vessel perforation by central venous catheter: a study of *in vitro* data. *Ann Emerg Med* 1991; **21**: 659
  - 18 Twardowski ZJ. Advantages and limits of the jugular catheter approach. *Nephrol Dial Transplant* 1995; **10**: 2178–82
  - 19 Barton BR, Hermann G, Weil R III. Cardiothoracic emergencies associated with subclavian hemodialysis catheters. *JAMA* 1983; **250**: 2660–2
  - 20 Kielstein JT, Abou-Rebyeh F, Hafer C, et al. Right-sided chest pain at the onset of haemodialysis. *Nephrol Dial Transplant* 2001; **16**: 1493–5
  - 21 Kappes S, Towne J, Adams M, et al. Perforation of the superior vena cava. A complication of subclavian dialysis. *JAMA* 1983; **249**: 2232–3
  - 22 NKF-DOQI clinical practice guidelines for vascular access. National Kidney Foundation—Dialysis Outcomes Quality Initiative. *Am J Kidney Dis* 1997; **30**: S150–91
  - 23 Oldham SAA. ICU chest radiographs—ICU calamities: evaluation of the portable chest radiograph. *Emergency Radiology* 2002; **9**: 43–54
  - 24 Weissauer W. [The cava-catheter from the medico-legal viewpoint]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1998; **33**: 117–18

## II.

---

Bayer O, Schummer C, Richter K, Fröber R  
Schummer W, (200)

Implication of the anatomy of the pericardial reflection  
on positioning of central venous catheters.

**J Cardiothorac Vasc Anesth 20:777-80**

# Implication of the Anatomy of the Pericardial Reflection on Positioning of Central Venous Catheters

Ole Bayer, MD,\* Claudia Schummer, MD,\* Konrad Richter, MD,† Rosemarie Fröber, MD,‡ and Wolfram Schummer, MD\*

**Objective:** Central venous catheterization is associated with a significant incidence of complications (5%-20%). The incidence of perforation is approximately 0.25% to 0.4%. To prevent cardiac tamponade associated with a high risk of death, Food and Drug Administration guidelines state that the tip of a central venous catheter (CVC) should not be placed in, or allowed to migrate into, the heart. Therefore, in order to prevent cardiac tamponade, a catheter should be placed above the pericardial reflection. Thus, the intrapericardial length of the superior vena cava (SVC) was studied. Neither the pericardial reflection nor the exact entrance to the right atrium (RA) can be identified by chest x-ray. The goal of this study was to evaluate the variability of the intrapericardial section in relation to the SVC.

**Design:** Observational study.

**Interventions:** The absolute length of the SVC, the upper edge of the pericardial reflection on the SVC, and the lateral and the medial intrapericardial sections of the SVC were recorded and statistically analyzed.

**Setting:** Medical school: dissecting room at the Department of Anatomy.

**Study Population:** Eighteen formalin-preserved adult cadavers.

**Measurements and Main Results:** The median lengths measured were as follows: total SVC, 61 mm; intrapericardial section of the medial SVC, 32.5 mm; and lateral SVC, 20.5 mm. The intrapericardial section was related to

the total length of the SVC on both sides (Spearman rank order,  $p < 0.05$ ). The median difference of the SVC covered with pericardium between the lateral and medial side was 11 mm (range, 5-21). In 15 of 18 cadavers, the pericardial reflection ran within the medial third of the SVC. The lower third of the SVC was regularly covered by the pericardium. The duplication of the pericardium crossed the SVC in the medial third at a diagonal to horizontal angle.

**Conclusions:** Catheters ending below the pericardial reflection, hence positioned in the caudal third of the SVC, are likely to run along the long axis of the vein and the risk for perforation is minimized. Therefore, the authors recommend placing all catheters below the pericardial reflection. According to the present data, CVCs placed approximately 30 mm above the RA border, thus complying with the Food and Drug Administration guidelines, still may have their tips positioned below the pericardial reflection. In this position, pericardial tamponade still may occur. Perforation above the pericardial reflection will result in a hemo- or hydrothorax/mediastinum. A bedside method to determine the position of the CVC with respect to the pericardial reflection (eg, electrocardiographic guidance) should be used.

© 2006 Elsevier Inc. All rights reserved.

**KEY WORDS:** superior vena cava, variation, central venous catheterization, adverse effects, pericardial tamponade, pericardial reflection

APPROXIMATELY 6 MILLION central venous catheter (CVC) insertions are performed annually in the United States.<sup>1</sup> At this 1,350-bed European university hospital, about 7,500 CVCs are placed each year, many of them by electrocardiographic (ECG) guidance.

Central venous catheterization may be associated with serious or even potentially fatal complications. The incidence of perforation is approximately 0.25% to 0.4%, and underreporting is very likely.<sup>2-4</sup> Perforation is related to catheter tip malposition (ie, location in vessels other than the vena cava or impingement of the catheter with vessel or atrial walls).<sup>3,5,6</sup> Impingement is regularly observed in left-sided catheters with their tip positioned in the upper superior vena cava (SVC).<sup>7</sup> In contrast, the catheter will run parallel with the vessel wall if the tip is positioned in the lower SVC.

To date, chest radiography has been used to give information on the impingement angle of a catheter. However, it cannot reliably identify the pericardial reflection. Recently, the authors have shown that ECG guidance of the catheter allows for identification of the pericardial reflection.<sup>8</sup> Thus, it is important to know the variability of the intrapericardial length of the CVC and the course of the pericardial reflection relative to the SVC.

## MATERIALS AND METHODS

The study was conducted on 18 adult cadavers preserved with formalin (embedding solution: formalin 1%/ethanol 64%). Approval by the local ethics committee was obtained. Demographic data were not available.

The proximal origin of the SVC was defined as the confluence of the brachiocephalic veins at the most caudal end of the left brachiocephalic vein. The distal aspect of the SVC was defined on the opened right atrium (RA) by the site of the junction of the SVC with the RA at the superior edge of the crista terminalis (terminal crest). First, the absolute length of the SVC was measured. The pericardial reflection on the SVC was also identified; the lateral and the medial intrapericardial part of the SVC were gauged with the help of a pair of compasses.

Results are presented as median and range. For correlation, the Spearman rank order test was applied. A  $p < 0.05$  was taken to be statistically significant. The data were analyzed by using SPSS 11.0 (SPSS Inc, Chicago, IL) under Windows XP (Microsoft Corp, Redmond, CA).

## RESULTS

The median length of the SVC was 61 (range, 46-111) mm. The median intrapericardial part of the medial SVC was 32.5 (range, 18-54) mm and of the lateral SVC was 20.5 (range,

---

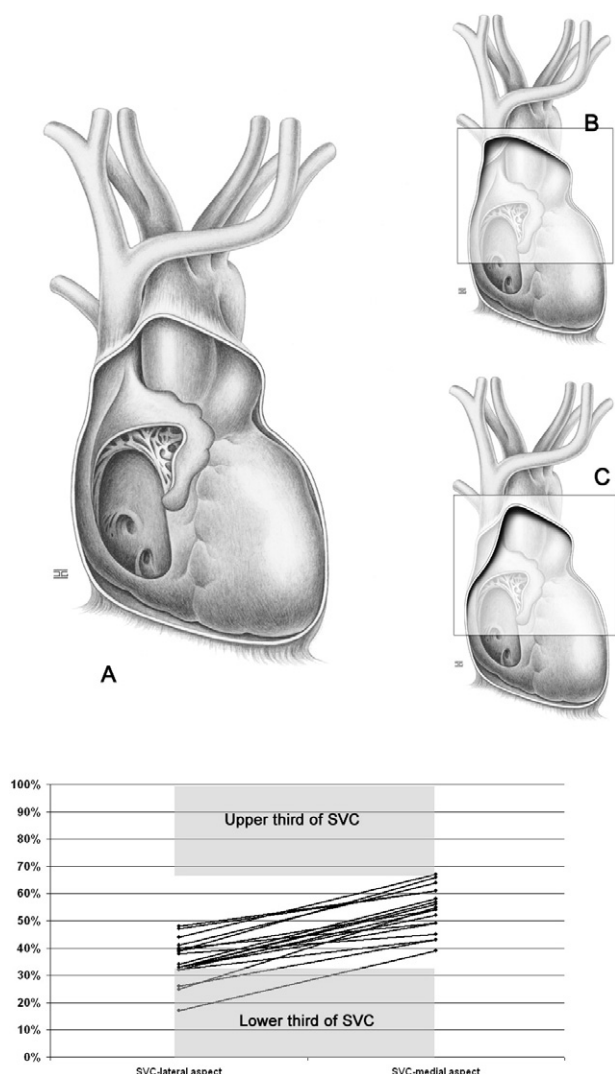
From the \*Clinic for Anesthesia and Intensive Care Medicine, †Department of General and Visceral Surgery, and ‡Institute of Anatomy, Friedrich-Schiller University, Jena, Germany.

Address reprint requests to Claudia Schummer, MD, Department for Anesthesia and Intensive Care Medicine, Friedrich-Schiller-University of Jena, Erlanger Allee 101, 07747 Jena, Germany. E-mail: cwschummer@gmx.de

© 2006 Elsevier Inc. All rights reserved.

1053-0770/06/2006-0004\$32.00/0

doi:10.1053/j.jvca.2006.03.015



**Fig 1.** Variations of the course (A-C) of the pericardial reflection with regard to the SVC. In this study, all cases belonged to variation A.

8-44) mm. The intrapericardial section (medial and lateral aspect of the SVC) was related directly to the total length of the SVC (Spearman rank order,  $p < 0.05$ ).

In 3 cases, the lateral pericardial reflection was situated clearly within the lower third of the SVC. In 15 of 18 cadavers, the pericardial reflection ran within the medial third of the SVC. Only the lower third of the SVC was regularly covered in total by the pericardium (Fig 1). The duplication of the pericardium transverse the SVC in the medial third. The course is somewhat diagonal, ascending from the lateral to the medial aspect of the vein. The median difference between the lateral and medial sides was 11 (range, 05-21) mm (Fig 2).

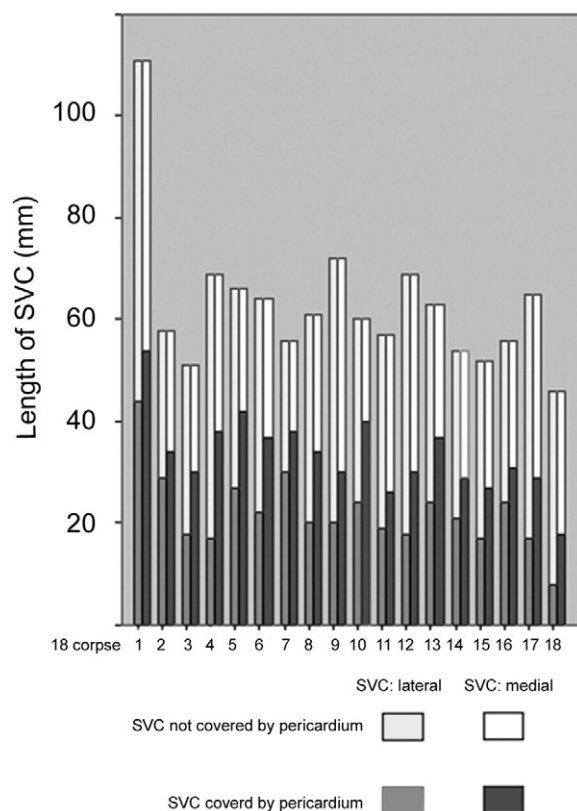
## DISCUSSION

Vessel and cardiac perforations are important and feared complications related to central venous catheters. Prevention of complications attributable to user technique is a fundamental

goal of the Food and Drug Administration. They oppose the placement of catheter tips into the right atrium.<sup>9</sup> However, correct CVC placement is a complex subject, and the answer is not so straightforward. A review of the literature suggests that vascular erosion or perforation can occur with the catheter tip in any location.<sup>10,11</sup> The more perpendicular the catheter tip to the wall of the vein or heart, the greater the risk of perforation.<sup>2,11,12</sup> In vitro data showed that the potential for perforation of a catheter tip was increased when its incidence angle with the vessel wall increased to 40° or greater.<sup>5</sup> Catheters inserted from the left side are more at risk of perforation because the brachiocephalic vein forms a right angle to the SVC and the catheter tip may be positioned against the lateral wall of the SVC with a wide angle.<sup>2,11,13-15</sup>

Knowledge of the anatomy of the great veins is crucial in order to understand the mechanisms and consequences of perforation. Life-threatening cardiac tamponade may result if a catheter perforates the right heart or that part of the SVC that is covered by pericardium. The upper half of the SVC is covered by mediastinal connective tissue. Here perforation will result in hemo- or hydrothorax/mediastinum. The azygos vein usually opens into the posterior side of the SVC above the border of the pericardium.

The median length of the SVC was 61 mm, ranging from 46 to 111 mm, which means that there is a greater variability than given in anatomy textbooks (length SVC, 60-80 mm; diameter



**Fig 2.** Data of 18 corpses preserved in formalin: sections covered with pericardium on the lateral and medial aspects of the SVC.

SVC, 15-22 mm).<sup>16</sup> On computed tomography scans, Caruso and colleagues<sup>17</sup> found a median length of the SVC of 65 mm (standard deviation, 16 mm). Aslamy and colleagues<sup>18</sup> used multiplanar magnetic resonance imaging (MRI) to evaluate the anatomy of the SVC in 42 patients. In their study cohort, the median length of the SVC was 68 mm (range, 44-100 mm). The present *in vitro* data may be subject to restrictions when comparing them with those in *in vivo* imaging studies. Embalming solutions containing formalin cause tissue to shrink. These results of the length of the medial intrapericardial part of the SVC (18-54 mm) are concordant with the measurements of Albrecht and colleagues.<sup>19</sup> In fresh cadavers, they found a length of the medial side of the SVC fused with the pericardium ranging from 14 to 54 mm.

In their MRI study, Aslamy and colleagues<sup>18</sup> evaluated the true anatomic SVC/atrial junction. In 38% of patients, it was located a median distance of 10 mm (range, 5-45 mm) inferior (caudal) to the radiologic right superior heart border. Therefore, on a chest x-ray, a catheter tip positioned within the cardiac silhouette would appear to lie within the upper RA but may actually be located in the distal SVC above the SVC/atrial junction. Dimensions of the SVC and their relationship to other central venous structures were also determined from these MRI scans.<sup>18</sup> The pericardial reflection covered an average of 36 mm of the distal SVC. In contrast, this study found a median intrapericardial part of the SVC of 20.5 mm on the lateral and 32.5 mm on the medial side. Possibly, this difference is caused by the shrinking effect of the embalming solution. In the present study, only the lower third of the SVC was regularly embedded in the pericardial sac, whereas Aslamy et al<sup>18</sup> observed that the distal half of the SVC lay within the pericardial sac. Aslamy et al could not find any significant correlation between the total or intrapericardial length of the SVC and either age, height, or weight. The present study could only show that the intrapericardial part was related to the total length of the SVC because demographic data were unavailable.

Therefore, the anatomy of the SVC is highly variable. The pericardium may extend high up the SVC (Fig 1B). In 1 case, the pericardial reflection ran 50 mm from the entrance to the right atrium. This exemplifies that even withdrawing a catheter 50 mm from the RA may, in case of perforation, put a patient at risk for cardiac tamponade.

In clinical practice, a major problem in correctly locating CVCs is the lack of reliable landmarks, and it must be questioned whether verification of the pericardial reflection based on radiologic landmarks is possible. Some authors recommend surface landmarks, insertion by formulas, or ECG guidance.<sup>8,15-19,20-23</sup> Most authors advocate a chest x-ray as the only practical and reliable test.<sup>24,25</sup> It is the only method available at the bedside to give information on catheter impingement.

However, neither the pericardial reflection nor the SVC and SVC/atrial junction are directly seen on a radiograph.<sup>17,18</sup> The projection of the SVC on the anterior thoracic wall extends parasternally from the sternal end of the first right rib to the sternal end of the third.<sup>26</sup> Various radiographic landmarks have been used to help identify and define the cephalad and caudal boundaries of the SVC (eg, thoracic vertebrae and the inferior border of the clavicles). Thus, using radiographic landmarks,

especially the localization of the inferior border of the SVC and the SVC/atrial junction, is imprecise and open to interpretation. To decrease or eliminate the effect of parallax, an anatomic structure that is located in close proximity to the SVC would be a better radiographic landmark for catheter positioning (eg, the angle of the right main bronchus and the trachea). As described by Aslamy et al<sup>18</sup> and Rutherford et al,<sup>10</sup> the most reliable radiographic landmark to define the borders of the SVC is the right tracheobronchial angle. This angle is created as the right mainstem bronchus bifurcates from the trachea. The superior (cephalad) border of the SVC is always superior to the right tracheobronchial angle. Aslamy et al<sup>18</sup> reported that the median distance from the confluence of the brachiocephalic veins, the origin of the SVC, to the right tracheobronchial angle was 15 mm (range, 1-38 mm).<sup>18</sup> Additionally, the right tracheobronchial angle was at least 29 mm above the SVC/atrial junction. Therefore, these authors concluded that a catheter tip positioned 30 mm below the right tracheobronchial angle would always be within the SVC. The tracheobronchial angle is also seen as a landmark for the upper limit of the pericardial reflection.<sup>17</sup>

However, this important information regarding the use of the right tracheobronchial angle as a radiographic landmark to define the boundaries of the SVC is rarely used in clinical practice. Especially on limited quality anteroposterior views (eg, bedside x-rays), the tracheobronchial angle is not easy to identify. In contrast, the carina can be identified easily on a chest x-ray. Being in close proximity to the tracheobronchial angle, this landmark was proposed by Schuster et al<sup>27</sup> and Albrecht et al<sup>19</sup> as a reliable, simple radiographic marker for the correct placement of a CVC tip.

With respect to catheter movement, Collier and Goodman<sup>24</sup> recommended positioning the CVC tip in the SVC 20 mm above the pericardial reflection. Considering the data of Caruso et al<sup>17</sup> and Aslamy et al,<sup>18</sup> this recommendation would result in CVC tips positioned close to the confluence of the brachiocephalic veins. With left-sided catheters, this could invite trouble from impinging catheters. Moreover, patients would be exposed to the threat of extravasation injury if multilumen catheters were inserted from the right side; there are catheters in which the most proximal port opens 73 mm from the tip (eg, PreSep; Edwards Lifesciences LLC, Irvine, CA).

Peres<sup>20</sup> argued that the lower SVC close to its junction with the RA might be a safer place for many left-sided catheters than a more cephalad position, which is preferred by Schuster et al<sup>27</sup> or Albrecht et al.<sup>19</sup> The present authors recommend placing all catheters in the lower SVC below the pericardial reflection so that they will run parallel to the vessel wall.

ECG guidance is another method to evaluate the position of a CVC. Recently, it has been shown that ECG monitoring from the tip of a guidewire (or fluid column) in a catheter will allow detection of the catheter at the pericardial reflection as evidenced by an increase in P-wave amplitude.<sup>28</sup> A maximal P-wave amplitude is observed at the entrance to the RA at the upper edge of the crista terminalis.<sup>7</sup> These ECG changes are easy to distinguish in patients with sinus rhythm. To the authors' knowledge, ECG guidance is the only bedside method available to identify the pericardial reflection and the junction of the SVC with the RA on an individual basis.



## REFERENCES

- Collier PE, Blocker SH, Graff DM, et al: Cardiac tamponade from central venous catheters. *Am J Surg* 176:212-214, 1998
- Mukau L, Talamini MA, Sitzmann JV: Risk factors for central venous catheter-related vascular erosions. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 15:513-516, 1991
- Jiha JG, Weinberg GL, Laurito CE: Intraoperative cardiac tamponade after central venous cannulation. *Anesth Analg* 82:664-665, 1996
- Robinson JF, Robinson WA, Cohn A, et al: Perforation of the great vessels during central venous line placement. *Arch Intern Med* 155:1225-1228, 1995
- Gravenstein N, Blackshear RH: In vitro evaluation of relative perforating potential of central venous catheters: Comparison of materials, selected models, number of lumens, and angles of incidence to simulated membrane. *J Clin Monit* 7:1-6, 1991
- Ellis LM, Vogel SB, Copeland EM 3rd: Central venous catheter vascular erosions. Diagnosis and clinical course. *Ann Surg* 209:475-478, 1989
- Schummer W, Herrmann S, Schummer C, et al: Intra-atrial ECG is not a reliable method for positioning left internal jugular vein catheters. *Br J Anaesth* 91:481-486, 2003
- Schummer W, Schummer C, Schelenz C, et al: [Modified ECG-guidance for optimal central venous catheter tip positioning A transesophageal echocardiography controlled study]. *Anaesthesist* 54:983-990, 2005
- Food and Drug Administration: Precautions necessary with central venous catheters. FDA Task Force. *FDA Drug Bulletin*, 1989, pp 15-16
- Rutherford JS, Merry AF, Occleshaw CJ: Depth of central venous catheterization: An audit of practice in a cardiac surgical unit. *Anaesth Intensive Care* 22:267-271, 1994
- Fletcher SJ, Bodenham AR: Safe placement of central venous catheters: Where should the tip of the catheter lie? *Br J Anaesth* 85:188-191, 2000
- Dailey RH: Late vascular perforations by CVP catheter tips. *J Emerg Med* 6:137-140, 1988
- Ducatman BS, McMichan JC, Edwards WD: Catheter-induced lesions of the right side of the heart. A one-year prospective study of 141 autopsies. *JAMA* 253:791-795, 1985
- Duntley P, Siever J, Korwes ML, et al: Vascular erosion by central venous catheters. Clinical features and outcome. *Chest* 101:1633-1638, 1992
- Passaro ME, Steiger E, Curtas S, et al: Long-term silastic catheters and chest pain. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 18:240-242, 1994
- Paturet G: *Traite d'Anatomie Humaine*. Paris, Masson, 1958
- Caruso LJ, Gravenstein N, Layon AJ, et al: A better landmark for positioning a central venous catheter. *J Clin Monit Comput* 17:331-334, 2002
- Aslamy Z, Dewald CL, Heffner JE: MRI of central venous anatomy: implications for central venous catheter insertion. *Chest* 114:820-826, 1998
- Albrecht K, Nave H, Breitmeier D, et al: Applied anatomy of the superior vena cava-the carina as a landmark to guide central venous catheter placement. *Br J Anaesth* 92:75-77, 2004
- Peres PW: Positioning central venous catheters—A prospective survey. *Anaesth Intensive Care* 18:536-539, 1990
- McGee WT, Ackerman BL, Rouben LR, et al: Accurate placement of central venous catheters: A prospective, randomized, multicenter trial. *Crit Care Med* 21:1118-1123, 1993
- Czepizak CA, O'Callaghan JM, Venus B: Evaluation of formulas for optimal positioning of central venous catheters. *Chest* 107:1662-1664, 1995
- Tempe DK, Virmani S, Tomar A, et al: Atrial ECG as guide to the placement of central venous catheter in patients undergoing open heart surgery. *Ann Cardiac Anaesth* 6:35-41, 2003
- Collier PE, Goodman GB: Cardiac tamponade caused by central venous catheter perforation of the heart: A preventable complication. *J Am Coll Surg* 181:459-463, 1995
- Tocino IM, Watanabe A: Impending catheter perforation of superior vena cava: Radiographic recognition. *AJR Am J Roentgenol* 146:487-490, 1986
- Hayek H: [Normal and abnormal development of organs in relation to their function & use]. *Munch Med Wochenschr* 100:557-560, 1958
- Schuster M, Nave H, Piepenbrock S, et al: The carina as a landmark in central venous catheter placement. *Br J Anaesth* 85:192-194, 2000
- Schummer W, Schummer C, Schelenz C, et al: Central venous catheters—The inability of 'intra-atrial ECG' to prove adequate positioning. *Br J Anaesth* 93:193-198, 2004

### III.

---

Schummer W, Schummer C, Müller A, Steenbeck J,  
Fuchs J, Bredle D, Hüttemann E (2004)

ECG-guided central venous catheter  
positioning: does it detect the pericardial  
reflection rather than the right atrium?

**Eur J Anaesthesiol 21:600-605**



## Original Article

# ECG-guided central venous catheter positioning: does it detect the pericardial reflection rather than the right atrium?

W. Schummer\*, C. Schummer\*, A. Müller†, J. Steenbeck¶, J. Fuchs\*, D. Bredle‡, E. Hüttemann\*

Friedrich-Schiller-University of Jena, \*Department of Anaesthesia and Intensive Care Medicine, †Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, ¶Institute of Diagnostic and Interventional Radiology, Jena, Germany; ‡University of Wisconsin-Eau Claire, Department of Kinesiology, WI, USA

### Summary

**Background and objective:** Although electrocardiography (ECG) guidance of central venous catheters (CVCs) is traditionally thought to detect the entrance into the right atrium (RA), there is little evidence in the literature to confirm this. We previously observed a high incidence of left-sided CVCs abutting the wall of the superior vena cava (SVC), even when the catheters were advanced past the point of increased P-wave amplitude. Our hypothesis was that this ECG amplitude signal is actually detecting the pericardial reflection rather than the RA. The goal of the study was to position catheter tips under ECG guidance outside the RA.

**Methods:** One-hundred central venous triple-lumen catheters inserted either via the right or the left internal jugular veins, respectively, were analysed in cardiac surgical patients. The position of the catheter tip was ascertained by ECG. **Method A:** A Seldinger guide-wire in the distal lumen served as exploring electrode, the respective insertion depth was recorded. **Method B:** The middle lumen (port opening 2.5 cm from the catheter tip, thus the catheter was advanced more towards the atrium) filled with a saline 10% fluid column served as the exploring electrode, and the insertion depth was recorded again. Descriptive data are given as mean  $\pm$  standard deviation.

**Results:** On average, the catheters were advanced by the expected  $2 \pm 0.3$  cm using Method B beyond the initial insertion by Method A. All 100 CVCs were finally correctly positioned in the SVC and confirmed by transoesophageal echocardiography. When chest radiography was performed after surgery not a single catheter abutted the lateral wall of the SVC.

**Conclusion:** Since both methods detected the same structure, and catheters placed by Method B did not result in intra-atrial CVC tip position, the first increase in P-wave amplitude does correspond to a structure in the SVC, most likely the pericardial reflection.

**Keywords:** CENTRAL VENOUS CATHETERIZATION, instrumentation; ELECTROCARDIOGRAPHY, diagnostic use; INTERNAL JUGULAR VEINS; TRANSOESOPHAGEAL ECHOCARDIOGRAPHY.

Central venous catheters (CVCs) have become indispensable in medical practice. About 200 000 of them are placed annually in the UK [1,2]. At our 1350 bed University Hospital, about 7500 CVCs are inserted

each year. Central venous cannulation puts patients at increased risk for mechanical and infectious complications, some of which are potentially fatal. Certain complications, such as vessel perforation, are related to the position of the tip and the insertion site. However, any position of the tip can result in serious complications. Furthermore, there is a lack of good evidence on which to base practice of the catheter tip position [3].

Correspondence to: Wolfram Schummer, Department of Anaesthesia and Intensive Care Medicine, Friedrich-Schiller-University of Jena, Bachstrasse 18, 07743 Jena, Germany. E-mail: cws@schummer@gmx.de; Tel: +49 0 3641 933041; Fax: +49 0 3641 933256

Accepted for publication December 2003 EJA 1615

In order to decrease the risk of superior vena cava (SVC) perforation – one of the most dangerous complications of central venous cannulation [4] – the catheter tip should be placed parallel with the long axis of the SVC, such that the tip does not abut the wall of the vein or heart. In 2000, Schuster and colleagues published an anatomical study concluding that CVC tips should be located in the SVC above the level of the carina, in order to avoid cardiac tamponade [5]. The carina is seen as a radiological landmark located outside the pericardial sac. Currently, electrocardiography (ECG)-guided CVC placement is accepted as a useful and safe method for correct catheter tip positioning [4].

In a previous study on ECG guidance, many triple-lumen catheters inserted through the left internal jugular vein (LIJV) had to be advanced further than indicated by ECG guidance in order to achieve free venous back flow through all lumina [6]. In contrast to what has been expected, more than 90% of these catheter tips were still located outside the right atrium (RA). We therefore concluded that the appearance of an 'intra-atrial' ECG with its increase in P-wave amplitude corresponds to a structure outside the RA. We conducted this prospective study comparing CVC positioning via the right internal jugular vein (RIJV) (Group R) and LIJV (Group L) to give clinical evidence for this hypothesis.

## Methods

The study protocol was approved by our Hospital Ethics Committee. This prospective, randomized, single centre study was performed in the division of cardiothoracic and vascular anaesthesia of a university hospital. Patients scheduled for cardiac surgery were eligible for the study, which ran from January to April 2003. For this type of surgery, CVC placement and transoesophageal echocardiography (TOE) monitoring is routine in our department. Postoperatively, all patients were admitted to the intensive care unit (ICU) and a chest radiograph was taken. Exclusion criteria were cardiac rhythms other than sinus rhythm after induction of anaesthesia, contraindication to TOE (e.g. gastric or oesophageal pathology or surgery). Patient characteristics recorded were age, gender, height and weight, as well as the type of surgery (Table 1). All CVCs were placed by one anaesthetist (W.S.).

For blockwise randomization, computer-generated numbers were used. The patients were assigned to the RIJV (Group R) or LIJV approach (Group L). After induction of general anaesthesia, patients were placed in a 20° Trendelenburg position for CVC insertion. The RIJV or LIJV, respectively, was punctured midway between the mastoid process and the sternal notch, just lateral to the pulsation of the carotid artery.

First, the vein was entered using a sterile Seldinger technique. Then the guide-wire was advanced and a triple-lumen polyurethane CVC introduced (Certofix® Trio SB 730, length 30 cm, 7 French). The distances of the opening ports are 2.5 and 5 cm from the distal opening for the middle and proximal lumen, respectively. Markings on the catheter with a distance of 1 cm allowed the measurement of its depth of insertion (Fig. 1). The kit includes a connection cable with a crocodile clip for connecting the guide-wire to a Certodyn® universal adapter (both: B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Germany).

In each patient, two methods for positioning the catheter tip were sequentially applied: ECG guidance using the Seldinger guide-wire in the distal lumen

Table 1. Patient characteristics of the two groups: RIJV and LIJV approach.

	RIJV	LIJV
Gender (m/f)	37/13	37/13
Age (yr)	65.7 ± 7.5	63.4 ± 12.4
Height (cm)	172.0 ± 7.5	170.1 ± 9.5
Body weight (kg)	82.2 ± 14.1	80.7 ± 14.8
Body mass index (kg m <sup>-2</sup> )	27.7 ± 4.2	27.9 ± 4.7

Data are the mean ± SD.

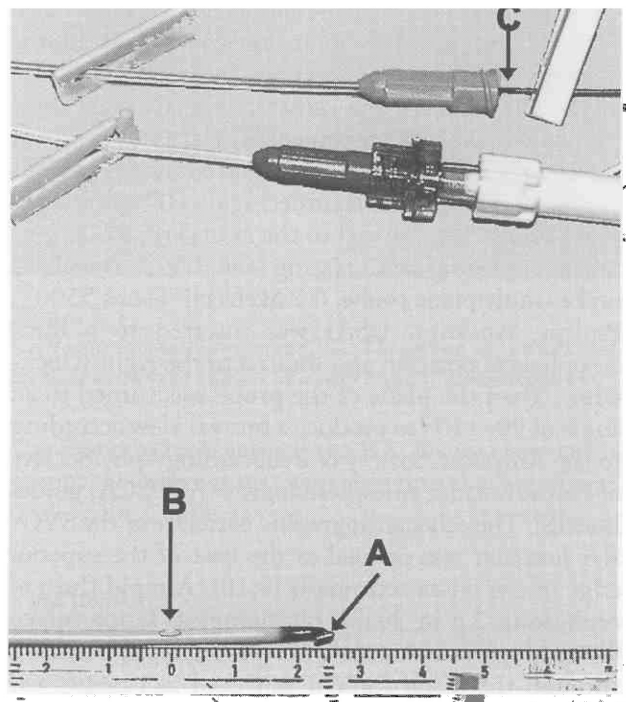


Figure 1. Triple-lumen CVC. (A) Guide-wire protruding the distal port; (B) port opening of the middle lumen in 2.5 cm distance to the catheter tip; (C) guide-wire inserted through hub of distal lumen. Black marking with crocodile clamp.

(Method A), and ECG guidance using a hypertonic saline fluid column in the middle lumen of the catheter (Method B). Free venous back flow from each port of the catheter was tested before it was fixed by a suture to the skin. The final position of all CVC tips was checked by TOE and postoperatively by portable chest radiography.

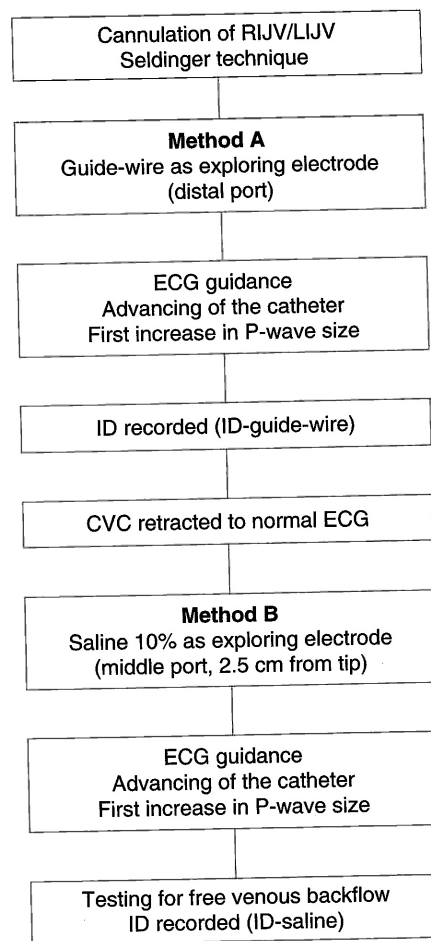
#### Method A

First, the guide-wire was used as a unipolar electrode. A black marking on the proximal end of the guide-wire indicates the point at which the tip of the wire levels with the port of the distal catheter lumen (Fig. 1). A sterile connection cable was clamped to the guide-wire at the marked position in order to connect it with an adapter that allows the operator to switch from a surface (Einthoven Lead II) to an intravascular ECG. The catheter was advanced together with the guide-wire until an increase in P-wave size was detected. Then they both were withdrawn stepwise until the P-wave returned to its normal size. The insertion depth, the ID (ID-guide-wire) was recorded in whole centimetres.

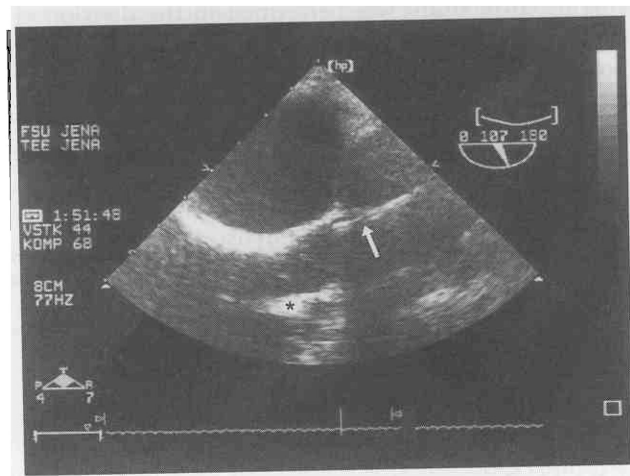
#### Method B

The middle lumen filled with saline 10% served as detecting electrode. Alphacard® (B. Braun, Melsungen, Germany), an electrical-conductive syringe with a cable and a cable joint for connection to the Certodyn® universal adapter was used [7]. With the guide-wire in place the catheter was advanced until the first P-wave increase was noted. The guide-wire was removed, than all lumina were tested for free venous backflow. The ID was recorded again (ID-saline) and the catheter was sutured to the skin (Fig. 2).

After placing and testing the CVC, the TOE probe (multiplane probe, 6.2 MHz/HP Sonos 5500®, Philips, Andover, USA) was inserted to a mid-oesophageal position and rotated to the right (clockwise). Then the plane of the probe was turned to an angle of 90–110° to produce a bicaval view according to the American Society of Echocardiography/Society of Cardiovascular Anesthesiologists (ASE/SCA) guidelines [8]. The echocardiographic correlate of the SVC–RA junction was defined as the base of the superior edge of the crista terminalis [9,10]. A rapid flush of cephazolin 2 g in 20 mL physiological saline (given for perioperative antibiotic prophylaxis, injected through the distal lumen) was used to identify the tip of the CVC by TOE (Fig. 3). The microbubbles of the solution acted as contrast medium and helped to identify the plane of the SVC in which the catheter tip was positioned. The catheter tip was usually identified as two closely spaced, parallel, bright echo dense lines surrounding the darker fluid-filled lumen.



**Figure 2.**  
Flow chart of the study design.



**Figure 3.**  
The echocardiographic SVC–RA junction was defined as the base of the superior edge of the crista terminalis (\*). The catheter tip was usually identified as two closely spaced, parallel, bright echo dense lines surrounding the darker fluid-filled lumen. Rapid flush of cephazolin 2 g in physiological saline 20 mL was used to identify the distal end of the CVC by TOE (arrow). The microbubbles of the solution act as contrast medium.

dense lines surrounding the darker fluid-filled lumen. The relationship of the CVC to the crista terminalis was recorded as a benchmark for the ID. All TOE examinations were performed by a second anaesthetist who was blinded to the IDs of the CVCs.

Within 3 h after surgery, a portable chest radiograph was taken. The radiographic SVC–RA junction was defined as the apex of the concave shadow formed by the superimposition of the distal SVC on the RA [11,12]. The catheter position was determined by a radiologist, also blinded to the study on CVC insertion. A correct position of the catheter tip was defined as to be in the SVC or at the SVC–RA junction and parallel ( $<40^\circ$ ) to the SVC wall, according to chest radiography and TOE. Malposition was considered to be a catheter tip placed in a vein other than the SVC, or in the RA or if the tip abutted the vein or heart wall at an angle exceeding  $40^\circ$ . Figure 4 depicts a correctly positioned catheter while Figure 5 is an example of a poorly positioned catheter (not seen in this study). The patient archiving and communication system (PACS) (Image Devices GmbH, Idstein, Germany) was used to view the digital images of the chest radiograms. The angle between the distal catheter and the lateral wall of the SVC was quantified using the viewing software of the PACS.

#### Data analysis

The descriptive data are expressed as mean  $\pm$  standard deviation (SD). Data analysis was performed using SPSS<sup>®</sup> 11.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) under Windows XP<sup>®</sup> (Microsoft Corp., Redmond, CA, USA).

#### Results

Of the 101 patients entering the study, all but one could be analysed. One patient could not be analysed because of inadvertent CVC withdrawal during transport to the ICU. Fifty central venous catheters were inserted through the RIJV (Group R), and 51 through the LIJV (Group L). The depth of insertion of 50 catheter tips in Group R and 50 in Group L were analysed. The mean depth of insertion in Group R was 15.7 cm (SD = 1.5) with Method A (ID-guide-wire), and 17.6 cm (SD = 1.5) with Method B (ID-saline), the mean difference was 2.0 cm (SD = 0.2). In Group L, the mean depth of insertion with Method A (ID-guide-wire) was 20.4 cm (SD = 2.2), and 22.4 cm (SD = 2.2) with Method B (ID-saline), the mean difference was 2.0 cm (SD = 0.3).

All CVCs had free venous back flow through all lumina with ID-saline. There were no malpositions into vessels other than the SVC. Using TOE, no CVC

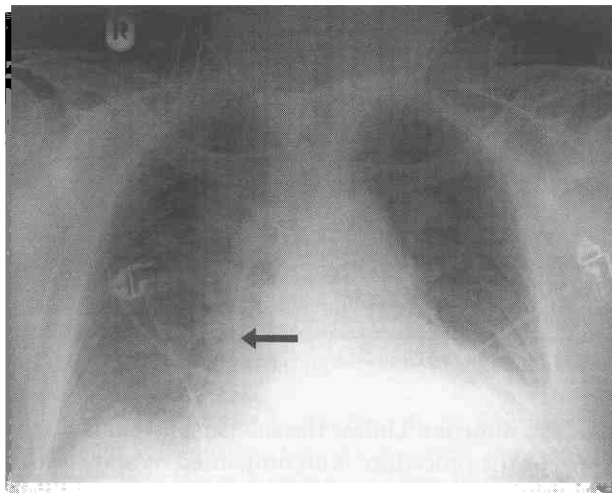


Figure 4.

*Chest radiograph (CXR) with correctly positioned CVC. Catheter tip marked with an arrow.*

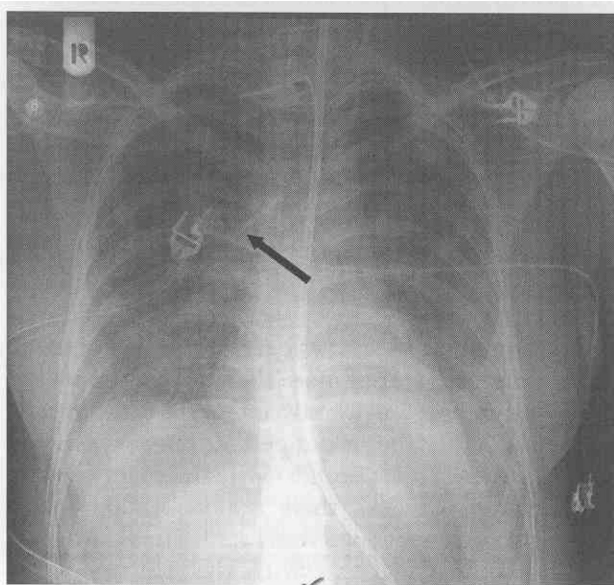


Figure 5.

*CXR with incorrectly positioned CVC. The catheter tip (arrow) abuts the wall of the cava superior at a steep angle of approximately  $90^\circ$ .*

was found to have entered the RA. Using chest radiography, no catheter was seen abutting the lateral wall of the SVC (Table 2).

#### Discussion

ECG guidance has become accepted as a tool to help in the placement of the tip of a CVC.

In many hospitals, ECG guidance for CVC placement has replaced a post-insertion chest radiography to check the position. From a legal viewpoint, in Germany at least, ECG guidance is equivalent to a chest radiograph [13] – the situation may be different

Catheters of 20 cm length might be too short. A limitation of our study is the time delay between CVC insertion, TOE assessment and the final position check by postoperative chest radiography. Catheter migration due to surgical manipulations cannot be excluded.

We conclude that the structure detected by an increase in the P-wave is not the junction between the SVC and RA, but more likely the pericardial reflection point. In our study, placing CVC tip 2 cm beyond the structure detected by guide-wire ECG guidance through the distal lumen always resulted in reliably functioning catheters with their tips outside the RA. A modification of the standard approach to ECG-guided CVC placement, as we present here, would seem prudent, pending further supportive data. Anatomical studies to verify our thesis are currently underway.

## References

- Waghorn DJ. Intravascular device-associated systemic infections: a 2 year analysis of cases in a district general hospital. *J Hosp Infect* 1994; 28: 91–101.
- Collier PE, Blocker SH, Graff DM, Doyle P. Cardiac tamponade from central venous catheters. *Am J Surg* 1998; 176: 212–214.
- Fletcher SJ, Bodenham AR. Safe placement of central venous catheters: where should the tip of the catheter lie? *Br J Anaesth* 2000; 85: 188–191.
- Scott WL. Complications associated with central venous catheters. A survey. *Chest* 1988; 94: 1221–1224.
- Schuster M, Nave H, Piepenbrock S, Pabst R, Panning B. The carina as a landmark in central venous catheter placement. *Br J Anaesth* 2000; 85: 192–194.
- Schummer W, Herrmann S, Schummer C, *et al.* Intra-atrial ECG is not a reliable method for positioning left internal jugular vein catheters. *Br J Anaesth* 2003; 91: 481–486.
- McGee WT, Ackerman BL, Rouben LR, Prasad VM, Bandi V, Mallory DL. Accurate placement of central venous catheters: a prospective, randomized, multicenter trial. *Crit Care Med* 1993; 21: 1118–1123.
- Shanewise JS, Cheung AT, Aronson S, *et al.* ASE/SCA guidelines for performing a comprehensive intraoperative multiplane transesophageal echocardiography examination: recommendations of the American Society of Echocardiography Council for Intraoperative Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force for Certification in Perioperative Transesophageal Echocardiography. *Anesth Analg* 1999; 89: 870–884.
- Nanda NC, Domanski HJ. Normal anatomy. *Atlas of Transesophageal Echocardiography*. Baltimore, USA: Lippincott Williams & Wilkins, 1998: 1–5.
- Nanda NC, Domanski HJ. Superior vena cava and right atrium. *Atlas of Transesophageal Echocardiography*. Baltimore, USA: Lippincott Williams & Wilkins, 1998: 36–38.
- Wunderbaldinger P. 'Tubes and lines' in thoracic radiography: malpositioning and complications. *Wien Med Wochenschr* 2001; 151: 524–531.
- Trigaux JP, Goncette L, Van Beers B, de Wispelaere JF, Pringot J. Radiologic findings of normal and compromised thoracic venous catheters. *J Thorac Imaging* 1994; 9: 246–254.
- Weissauer W. The cava-catheter from the medico-legal viewpoint. *Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1998; 33: 117–118.
- Jay AW, Aldridge HE. Perforation of the heart or vena cava by central venous catheters inserted for monitoring or infusion therapy. *Can Med Assoc J* 1986; 135: 1143–1144.
- Blackshear RH, Gravenstein N. Critical angle of incidence for delayed vessel perforation by central venous catheter: a study of *in vitro* data. *Ann Emerg Med* 1991; 21: 659.
- NKF-DOQI clinical practice guidelines for vascular access. National Kidney Foundation–Dialysis Outcomes Quality Initiative. *Am J Kidney Dis* 1997; 30: S150–S191.
- Barton BR, Hermann G, Weil III R. Cardiothoracic emergencies associated with subclavian hemodialysis catheters. *JAMA* 1983; 250: 2660–2662.
- Kappes S, Towne J, Adams M, Kauffman HM, Maierhofer W. Perforation of the superior vena cava. A complication of subclavian dialysis. *JAMA* 1983; 249: 2232–2233.
- Kielstein JT, Abou-Rebyeh F, Hafer C, Haller H, Fliser D. Right-sided chest pain at the onset of haemodialysis. *Nephrol Dial Transplant* 2001; 16: 1493–1495.
- Twardowski ZJ. Advantages and limits of the jugular catheter approach. *Nephrol Dial Transplant* 1995; 10: 2178–2182.
- Food and Drug Administration. Precautions necessary with central venous catheters. FDA Task Force. *FDA Drug Bull* 1989; July: 15–16.

#### IV.

---

Schummer W, Schummer C, Schelenz C, Brandes H,  
Stock U, Müller T, Leder U, Hüttemann E (2004)

Central venous catheters--the inability of 'intra-  
atrial ECG' to prove adequate positioning.

**Br J Anaesth** 93:193-198

## Central venous catheters—the inability of ‘intra-atrial ECG’ to prove adequate positioning

W. Schummer<sup>1,\*</sup>, C. Schummer<sup>1</sup>, C. Schelenz<sup>1</sup>, H. Brandes<sup>2</sup>, U. Stock<sup>3</sup>, T. Müller<sup>3</sup>,  
U. Leder<sup>4</sup> and E. Hüttemann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Clinic for Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, Friedrich-Schiller University of Jena, Erlanger Allee 103, D-07747 Jena, Germany. <sup>2</sup>Department of Cardiothoracic and Vascular Surgery, Friedrich-Schiller University of Jena, Bachstrasse 18, Germany. <sup>3</sup>Institute for Experimental Animals, University of Jena, Dornburger Strasse 23, D-07740 Jena, Germany. <sup>4</sup>Biomagnetic Center, and Klinik für Innere Medizin III, Friedrich-Schiller University of Jena, University of Applied Sciences, Erlanger Allee 101, D-07747 Jena, Germany

\*Corresponding author: E-mail: cwschummer@gmx.de

**Background.** The classic increase in P wave size, known as ‘P-atriale’, is a widely accepted criterion for determination of proper positioning of central venous catheter tips. Recent transoesophageal echocardiography (TOE) studies did not confirm intra-atrial position despite advancing the central venous catheter further than indicated by ECG guidance. We postulate that the pericardial reflection rather than the entry into the right atrium corresponds to the ECG changes. In order to test our hypothesis we sought to determine the anatomical substrate for the electrical changes in an animal study. Subsequently, a modified version of the study was undertaken in man and is also reported.

**Methods.** In six juvenile pigs the left external jugular vein and right carotid artery were cannulated. A triple-lumen central venous catheter was positioned by ECG guidance using a Seldinger wire as an exploring electrode. The venous and arterial catheters were suture fixed 2 cm beyond the onset of an increase in P wave size. The corresponding anatomical catheter tip position was determined by open exploration of the vessels and the heart. Subsequently the catheter tip position (during advancement) of a pulmonary artery catheter and the corresponding electrical ECG changes were examined in 10 patients during open chest cardiac surgery.

**Results.** All catheters—arterial and venous, in animals and humans—revealed an increase in size of the P wave as well as the QRS complex. All venous catheters were positioned in the superior vena cava, beyond the pericardial reflection but outside the right atrium. All arterial catheters were positioned in the ascending aorta thus also beyond the pericardial reflection.

**Conclusions.** The start of an increase in P wave size does not correspond with the entrance of the right atrium. The anatomic equivalent for the electrophysiological changes of the ECG is the pericardial reflection. ECG guidance is unable to distinguish between venous and arterial catheter position.

*Br J Anaesth* 2004; **93**: 193–8

**Keywords:** heart, catheterization, central venous; veins, internal jugular; monitoring, electrocardiography

Accepted for publication: February 18, 2004

Currently ECG-guided central venous catheter (CVC) placement is considered to be a useful and safe method to ensure extra-atrial catheter tip position.<sup>1</sup> In many hospitals, ECG guidance for CVC placement has replaced a post-insertion chest X-ray (CXR) to confirm its position.<sup>2,3</sup>

Optimal positioning of the tip of a CVC is a complex and controversial subject. The United States Food and Drug

Administration (FDA), for example, strongly disagree with the practice of positioning the tip of a CVC into the right atrium because of the potential for cardiac-related complications like cardiac tamponade.<sup>4</sup> Others, like the National Kidney Foundation: Dialysis Outcomes Quality Initiative (NKF/DOQI) published clinical practice guidelines for tunnelled (cuffed) catheters stating that the tip should be

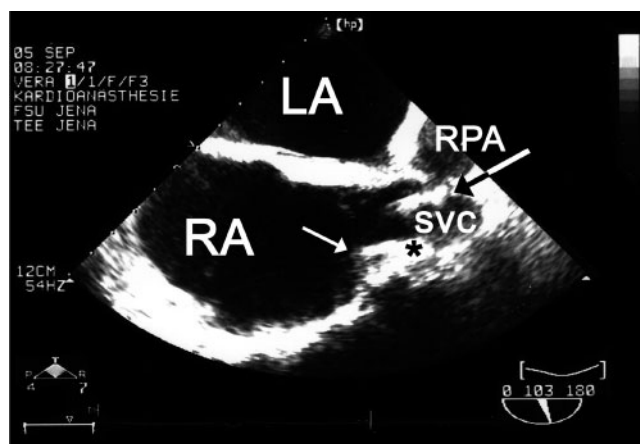


positioned at the superior vena cava-right atrial (SVC-RA) junction or into the right atrium to ensure optimal blood flow.<sup>5</sup> With regard to temporary or non-tunnelled haemodialysis catheters, the NKF/DOQI recommend positioning the catheter tip at the SVC-RA junction or in the SVC.

In a recent study, we advanced 57 of 110 triple-lumen catheters 1–5 cm beyond the ‘correct’ position as determined by ECG guidance.<sup>6</sup> Only five of these catheter tips were found to be positioned 1 cm distal to the crista terminalis, in the right atrium as confirmed by transoesophageal echocardiography (TOE) (Fig. 1). We hypothesized that the ECG amplitude signal is actually detecting another anatomical structure other than the right atrium. In order to investigate this phenomenon, we positioned 100 triple-lumen CVCs either via the right or the left internal jugular vein by ECG guidance using a fluid column in the middle lumen as a detecting electrode (port opening 2.5 cm from catheter tip).<sup>7</sup> None of these catheters were found to be intra-atrial. Finally, we postulated that the increase in P wave amplitude corresponds to the pericardial reflection. This study was designed to test this hypothesis. Initially, we recorded the course of electrical changes during ECG-guided central venous and arterial catheter insertions in pigs. Then we adapted the study design to a clinical setting where tip position of a pulmonary artery catheter (PAC) and the associated electrical ECG changes were examined in patients during open chest cardiac surgery.

## Materials and methods

This prospective, observational study was performed at the Institute for Experimental Animal Research and in the Department of Cardiothoracic and Vascular Anaesthesia at the Friedrich-Schiller University of Jena. The study protocols were approved by the local ethics committee.

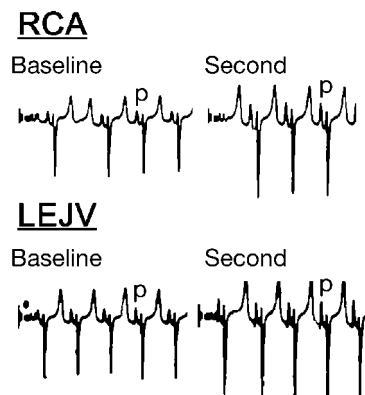


**Fig 1** The echocardiographic junction between SVC and RA was defined as the superior edge (\*) of the crista terminalis (white arrow). The catheter tip (black-white arrow) was usually identified as two closely spaced, parallel, bright echodense lines surrounding the darker fluid-filled lumen. Rapid flush of cephalosolin 2 g in 20 ml normal saline was used to identify the distal end of the CVC by TOE. The microbubbles of the solution act as contrast medium. (LA, left atrium; RPA, right pulmonary artery.)

## Animal study

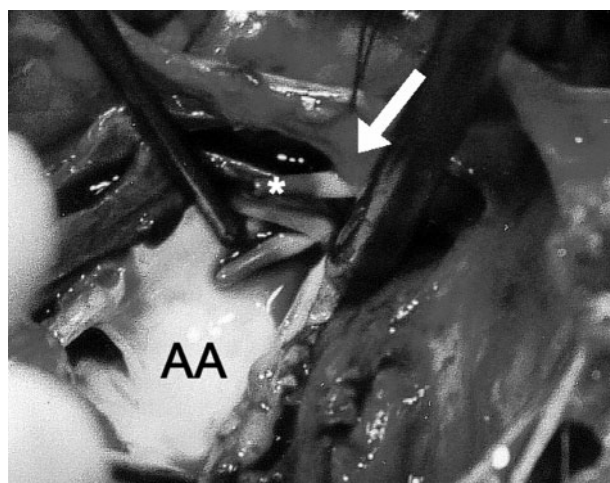
Six juvenile female pigs (21–26 kg) received care in compliance with the ‘Guide for the Care and Use of Laboratory Animals’ published by the National Institutes of Health.<sup>8</sup>

Each pig was pre-medicated with an i.m. injection of ketamine 20 mg kg<sup>-1</sup>, 150 U hylase, and atropine 0.04 mg kg<sup>-1</sup>. Anaesthesia was induced with an i.v. injection of propofol 2 mg kg<sup>-1</sup> and maintained with a continuous infusion of midazolam 10–16 µg kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>, fentanyl 0.2–0.4 µg kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>, and pancuronium 6–10 µg kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>. After tracheal intubation, all animals were mechanically ventilated by a volume-controlled ventilator (Servo Ventilator 900 C; Siemens AG Medical Solutions, Erlangen, Germany). A triple-lumen polyurethane CVC was introduced (Certofix® Trio SB 730, length 30 cm, 7 French) into the left external jugular vein using the Seldinger technique. The cannulation kit included a connection cable with a crocodile clip for connecting the guide wire to a Certodyn® universal adapter (both B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Germany). The guide wire was used as a unipolar electrode. A black marking on the proximal end of the guide wire indicated the point at which the tip of the wire is just level with the port of the distal catheter lumen. A connection cable was clamped to the guide wire at the marked position in order to connect it with an adapter that allows the operator to switch from a surface to an intravascular ECG. The skin reference electrodes were placed on the left extremities. Using continuous ECG guidance, the catheter was advanced together with the guide wire 2 cm beyond a marked increase in P wave size where the catheter was eventually fixed by sutures. The intravascular baseline ECG and an ECG after the first onset of an increase in P wave size were followed on the ECG-monitor (Cardiocal II, Datex, Helsinki, Finland) and recorded on a paper strip (Sony Model UP-860 CE video graphic printer, Sony Deutschland, Köln, Germany). Markings on the catheter allowed measurement of the depth of insertion. A second catheter was placed intra-arterially through the right carotid artery followed by the same ECG guidance procedure (Fig. 2).



**Fig 2** Intravascular baseline ECG and an ECG after the first onset of an increase in P wave size in one of the pigs (P marked). The upper series belongs to the intra-arterial catheter (RCA, right carotid artery). The lower series was recorded from the i.v. catheter (LEJV, left external jugular vein).





**Fig 3** A left-sided thoracotomy was performed followed by opening of the veins, the aorta and the right atrium. Catheter tip positions were documented. This arrow points at the pericardial reflection, the lower catheter tip is positioned in the ascending aorta (AA), the venous catheter tip ends in the SVC (★).

To confirm the corresponding anatomical positions of both catheters the animals were killed by rapid injection of potassium chloride 7.45%. A left-sided thoracotomy was performed followed by opening of the veins, the aorta and the right atrium (Fig. 3). Catheter tip position was documented.

In order to prevent an observer bias, each ECG recording was analysed without knowledge of the corresponding anatomical position by a blinded investigator.

### Human observational study

From July to September 2003, 10 male patients, undergoing open chest cardiac surgery with the need for a PAC and TOE monitoring, were enrolled into the study. Exclusion criteria were absence of sinus rhythm, previous open heart surgery, contraindication to TOE or missing TOE study after CVC placement, failure of the Alphacard®-system and refusal to sign written consent. Patient characteristics recorded were age (49–69 yr, median 60.5), sex, BMI (23–33.7, median 26.9), and type of surgery.

Following induction of general anaesthesia with i.v. midazolam (0.15–0.2 mg kg<sup>-1</sup>) and sufentanil (1.5–2 µg kg<sup>-1</sup>) on inspired oxygen 100%, tracheal intubation was facilitated with pancuronium (0.08–0.1 mg kg<sup>-1</sup>). Anaesthesia was maintained with sufentanil 25–50 µg h<sup>-1</sup>, and sevoflurane and oxygen in air ( $F_{I_{O_2}}$ =0.4). The right or left innominate vein, were then cannulated. The vein was punctured using a sterile Seldinger technique. The guide wire was advanced and a PAC (CCO/SvO<sub>2</sub>, 744H 7.5 F, Edwards Lifescience, Munich, Germany) was inserted through a percutaneous sheath introducer (8.5 F, SI-09875-E, Arrow Deutschland, Erding, Germany).

A TOE probe (multiplane probe, 6.2 MHz/HP Sonos 5500, Philips, Andover, USA) was inserted to a midesophageal

position and rotated to the right (clockwise). Then the plane of the probe was turned to an angle of 90–110° to produce a bicaval view according to the American Society of Echocardiography/Society of Cardiovascular Anesthesiologists (ASE/SCA) guidelines.<sup>7</sup>

The SVC opens into the upper and back part of the atrium. The direction of its orifice being downward and forward within the confines of the sinus venosus, that area of the right atrium, which is bounded by the atrial septum and the crista terminalis. The echocardiographic correlate of the SVC-RA junction was defined as the base of the superior edge of the crista terminalis (Fig. 1).<sup>8,9</sup> Catheter tip position was determined by ECG-guidance using the Alphacard® system (an electrical-conductive syringe with a cable and a cable joint for connection to the Certodyn® universal adapter, B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Germany) by filling the distal lumen with 10% saline. The electrically conductive liquid in the venous catheter lumen served as the intravascular electrode in this procedure (Einthoven lead II). The skin reference electrodes were placed on the left shoulder and left midclavicular line at the sixth intercostal space. A baseline intravascular ECG was documented with the inflated balloon protruding immediately at the luminal end of the percutaneous sheath. An Edwards Vigilance monitor (Edwards Lifescience, Munich, Germany) was connected with the respective optics module (Edwards OM-2E, Edwards Lifescience, Munich, Germany) to the PAC. The fibre-optic light channel emits a red light at the catheter tip. Following sternotomy but before the opening of the pericardial sac, the surgeon freed the innominate vein from surrounding connective tissue. Under continuous ECG-guidance the PAC was advanced until the surgeon noted the balloon or the red light at the pericardial reflection. At this site a second intravascular ECG was recorded. The extra-atrial position was confirmed additionally by TOE. The surgeon was blinded with respect to the ECG.

### Statistics

Statistical analysis was performed using SPSS 11.0 (SPSS GmbH Software, Munich, Germany). Data were expressed as mean and 25th and 75th percentiles. Comparison of the two P wave amplitudes was performed using Wilcoxon Signed Ranks test. *P* values less than 0.05 were considered significant.

## Results

### Animal study

In all six pigs a significant increase in P wave amplitude was observed in venous ( $P<0.05$ ) and arterial ( $P<0.05$ ) catheters (Table 1). All venous catheter tips were found to be placed distal to the pericardial reflection but outside the right atrium. All arterial catheter tips were positioned distal to the pericardial reflection in the ascending aorta.

**Table 1** Results from the six pigs studied. P1, baseline intravascular P wave amplitude; P2, increased P wave amplitude at pericardial reflection; SD, standard deviation (\*P, Wilcoxon Signed Ranks test)

Pig	P1, venous (mV)	P2, venous (mV)	P1, arterial (mV)	P2, arterial (mV)
1	0.18	0.35	0.18	0.29
2	0.18	0.55	0.18	0.36
3	0.18	0.71	0.18	0.59
4	0.14	0.43	0.14	0.43
5	0.25	0.63	0.33	0.67
6	0.17	0.83	0.17	0.67
25th Percentile	0.16	0.41	0.16	0.34
Median	0.18	0.59	0.18	0.51
75th Percentile	0.20	0.74	0.22	0.67
*P	<0.028		<0.028	

**Table 2** Results from the ten patients studied. P1, baseline intravascular P wave amplitude; P2, increased P wave amplitude at the pericardial reflection. All catheter tips were seen in the SVC by TOE (\*P, Wilcoxon Signed Ranks test)

Patient	P1, venous (mV)	P2, venous (mV)
1	0.18	0.27
2	0.36	0.55
3	0.36	0.91
4	0.36	0.91
5	0.14	0.29
6	0.18	0.73
7	0.18	0.55
8	0.27	0.45
9	0.18	0.45
10	0.18	0.55
25th Percentile	0.18	0.41
Median	0.18	0.55
75th Percentile	0.36	0.77
*P	0.005	

### Observations in humans

In all 10 male patients a significant increase in P wave amplitude was noted at the pericardial reflection (Table 2). TOE examination confirmed the extra-atrial catheter tip position of all 10 catheters at the site of the first increase in P wave amplitude.

### Discussion

Right atrial electrocardiography is established as a method to determine catheter tip position, but almost all previous studies are based on right-, not left-sided catheterization, if information on cannulation site is provided at all.<sup>1 3 12–15</sup> For obvious reasons, ECG guidance of arterially placed CVCs has never been studied in humans. A guide wire or a saline-filled catheter serves as the exploring electrocardiographic electrode and usually Einthoven lead II is monitored.<sup>14</sup> It is generally accepted that an increase in P wave size occurs as the catheter enters the right atrium. Therefore, it is said that withdrawing the catheter up to 3 cm from the point where the P wave size becomes normal ensures correct placement outside the heart in the venous system.<sup>12 14 16</sup> The

manufacturer of the Certodyn® adapter even claims on his teaching link (<http://www.cvc-partner.com/en.html?/en/main.html>) that the elimination of an elevated P wave is a clear signal of the catheter's position prior the entrance to the right atrium.

In a previous study we inserted 50 central venous triple-lumen catheters either via the right or 50 via the left internal jugular vein. Catheter tip position was ascertained by ECG guidance. Method A: a Seldinger guide wire in the distal lumen served as an exploring electrode, the respective insertion depth was recorded. Method B: the middle lumen (port opening 2.5 cm from catheter tip, thus the catheter was advanced more towards the atrium) filled with a 10% saline fluid column served as the exploring electrode, and the insertion depth was recorded again. On average, the catheters were advanced by the expected 2 (SD 0.3) cm using Method B beyond the initial insertion by Method A. We therefore concluded that both methods detected the same structure. Confirmed by TOE all 100 CVCs were finally correctly positioned in the SVC. On postoperative CXR not a single catheter abutted the lateral wall of the SVC. As catheters placed by Method B did not result in intra-atrial CVC tip position, the first increase in P wave amplitude does correspond to a structure in the SVC. We hypothesized that a second anatomical structure needs to be responsible for the electrocardiographic phenomenon, most likely the pericardial reflection.<sup>17</sup>

The adjacent atrial wall tissue is thought to be responsible for the increase in voltage of the 'P-atriale'.<sup>12</sup> We postulated that the pericardium might serve as an electrical isolator and is responsible for the phenomenon observed.

### Three different mechanisms contribute to an increase in P wave amplitude

The far field effect of electromagnetic fields.

- This entails an increase in amplitude inversely related to the square of the source distance (in case of non-dipolar source configurations at even higher order). This at least might explain an obvious rise in amplitude when advancing the catheter tip towards the central vascular compartment.
- Near field effects of electromagnetic fields: these come into action when arriving at the pericardial reflection. Slight manipulations if the catheter tip significantly alter source-to-sensor geometry because of the nearby cranio-caudal right atrial excitation wave front.
- Alteration of volume conductor resistivity at the pericardial reflection: the resistivity of connective tissue is three times greater than that of blood. This bundles isopotential lines at the entrance of the cardiac compartment.

Calculations of isopotential lines accounting for volume conductor effects of pericardial resistivity as well as establishing precise distance-to-amplitude relationships are objectives of our ongoing research in this field. This will clarify the

different contributions of these mechanisms to the observed P wave phenomenon.

In all animals the P wave amplitude started to increase significantly outside the heart at the pericardial reflection. Interestingly, this phenomenon was observed in venous as well as arterial intravascular ECGs.

This phenomenon was also confirmed for the SVC in all humans studied. Therefore, we conclude that traditionally ECG-guided catheter tips are located outside the pericardial sac. The site of the pericardial reflection is not identical with the entrance of the right atrium, but crosses the SVC more cephalad.<sup>17</sup>

Hence, cardiac tamponade caused by perforation of the atrial wall or the SVC below the pericardial reflection can be prevented by ECG guidance, provided catheter migration is averted. Except for cubital CVCs,<sup>18</sup> it is more common for CVCs to move back into the great veins than forward into the atrium, if displaced.<sup>19</sup>

The potential risk of vessel perforation might be minimized by positioning the catheter with its tip parallel to the SVC,<sup>20</sup> most easily accomplished with right-sided placements. Because the innominate vein meets the SVC at an angle of almost 90° left-sided catheters passing from the innominate vein into the SVC may impinge on the SVC at an acute angle.<sup>21</sup> A review of reported cases and *in vitro* data suggest, that catheter tips with an impingement angle to the SVC of higher than 40° require repositioning.<sup>22</sup> We believe that an unsatisfactory tip position above the heart should not be accepted purely to satisfy FDA guidelines.<sup>4</sup> Whenever the catheter negotiates a sharp bend, the catheter must be passed a reasonable distance beyond the bend such that the axes of the catheter and vein are aligned. The low SVC-upper RA is a suitable tip site from any access point in the upper body. Unlike some authors, we believe that the left innominate vein is not a suitable site for the tip of left-sided catheters, especially in patients depending on vasoactive substances and patients with high-flow catheters such as those for haemodialysis.<sup>20</sup>

In left-sided CVCs X-ray control is strongly recommended because ECG guidance is unable to give any information on the impingement angle.<sup>6</sup>

To avoid withdrawal of an impinging catheter into the left innominate vein, associated with an increased rate of thrombosis, in our opinion left-sided catheters should always be inserted deeper than indicated by P wave size alteration.<sup>7, 23</sup>

A further incorrect assumption is that a 'P-atriale' is only associated with i.v./right atrial positioning. To clear up with this misconception, we recorded the ECG in the ascending aorta of six pigs. Again the P wave amplitude increased significantly below the site of pericardial reflection crossing the ascending aorta. For obvious reasons, this experiment could not be transferred to humans. However, the results are in keeping with our own observations during inadvertent carotid artery cannulations. Indeed, inadvertent arterial catheterization and advancement of the catheter caused a 'normal' increase in P wave size not suggestive of arterial misplacement.

This is demonstrated by a case report on an intra-arterial CVC where malposition was not detected first hand because ECG guidance showed the expected P wave increase.<sup>24</sup> This electric phenomenon finally resulted in the misinterpretation of left-sided intra-atrial positioning of this catheter.<sup>24</sup> From our observations, it is implausible, that this catheter had passed the aortic and the mitral valve. It must have been situated in the ascending aorta beyond the pericardial reflection.

In summary, our study shows that an increase in P wave amplitude already starts at the pericardial reflection outside the heart and, ECG guidance cannot distinguish whether a catheter is placed intra-arterially or intravenously.

## References

- 1 Scott WL. Complications associated with central venous catheters. A survey. *Chest* 1988; **94**: 1221–4
- 2 Weissauer W. The cava-catheter from the medico-legal viewpoint. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1998; **33**: 117–8
- 3 Koscielniak-Nielsen ZJ, Otkjaer S, Hansen OB, Hemmingsen C. CVP catheter electrocardiography: an alternative to radiographic control after cannulation of central veins? *Acta Anaesthesiol Scand* 1991; **35**: 762–6
- 4 Food and Drug Administration. Precautions necessary with central venous catheters. FDA Task Force. *FDA Drug Bulletin* 1989: 15–16
- 5 Schwab SJ, Besarab A, Beathard G, NKF-DOQI clinical practice guidelines for vascular access. National Kidney Foundation-Dialysis Outcomes Quality Initiative. *Am J Kidney Dis* 1997; **30** (Suppl.): S150–91
- 6 Schummer W, Herrmann S, Schummer C, et al. Intra-atrial ECG is not a reliable method for positioning left internal jugular vein catheters. *Br J Anaesth* 2003; **91**: 481–6
- 7 Schummer W, Schummer C, Müller A, et al. ECG-guided central venous catheter positioning: does it detect the pericardial reflection rather than the right atrium? *Eur J Anaesthesiol* (in press)
- 8 National Institutes of Health. *Guide for the Care and Use of Laboratory Animals*. 1985; **85**: 23
- 9 Shanewise JS, Cheung AT, Aronson S, et al. ASE/SCA guidelines for performing a comprehensive intraoperative multiplane transesophageal echocardiography examination: recommendations of the American Society of Echocardiography Council for Intraoperative Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force for Certification in Perioperative Transesophageal Echocardiography. *Anesth Analg* 1999; **89**: 870–84
- 10 Nanda NC, Domanski HJ. Normal anatomy. *Atlas of Transoesophageal Echocardiography*. Baltimore: Williams Wilkins, 1998: 1–5
- 11 Nanda NC, Domanski HJ. Superior vena cava and right atrium. *Atlas of Transoesophageal Echocardiography*. Baltimore: Williams Wilkins, 1998: 36–8
- 12 McGee WT, Ackerman BL, Rouben LR, et al. Accurate placement of central venous catheters: a prospective, randomized, multicenter trial. *Crit Care Med* 1993; **21**: 1118–23
- 13 Michaelis G, Biscopig J, Hempelmann G. Die Platzierung des zentralvenösen Katheters unter EKG-Kontrolle. *Anasth Intensivmed* 1988; **30**: 272–8
- 14 Corsten SA, van Dijk B, Bakker NC, de Lange JJ, Scheffer GJ. Central venous catheter placement using the ECG-guided Cavafix-Certodyn SD catheter. *J Clin Anesth* 1994; **6**: 469–72

- 15 Salmela L, Aromaa U. Verification of the position of a central venous catheter by intra-atrial ECG. When does this method fail? *Acta Anaesthesiol Scand* 1993; **37**: 26–8
- 16 Urdaneta F, Lobato EB, Gravenstein N. Vascular access. In: Kirby RR, Gravenstein N, Lobato EB, Gravenstein JS, eds. *Clinical Anesthesia Practice*, 2nd Edn. Philadelphia: W.B. Saunders, 2002; 527–43
- 17 Schuster M, Nave H, Piepenbrock S, Pabst R, Panning B. The carina as a landmark in central venous catheter placement. *Br J Anaesth* 2000; **85**: 192–4
- 18 Kalso E, Rosenberg PH, Vuorialho M, Pietila K. How much do arm movements displace cubital central venous catheters? *Acta Anaesthesiol Scand* 1982; **26**: 354–6
- 19 Kowalski CM, Kaufman JA, Rivitz SM, Geller SC, Waltman AC. Migration of central venous catheters: implications for initial catheter tip positioning. *J Vasc Interv Radiol* 1997; **8**: 443–7
- 20 Fletcher SJ, Bodenham AR. Safe placement of central venous catheters: where should the tip of the catheter lie? *Br J Anaesth* 2000; **85**: 188–91
- 21 Tocino IM, Watanabe A. Impending catheter perforation of superior vena cava: radiographic recognition. *Am J Roentgenol* 1986; **146**: 487–90
- 22 Gravenstein N, Blackshear RH. *In vitro* evaluation of relative perforating potential of central venous catheters: comparison of materials, selected models, number of lumens, and angles of incidence to simulated membrane. *J Clin Monit* 1991; **7**: 1–6
- 23 Vesely TM. Central venous catheter tip position: a continuing controversy. *J Vasc Interv Radiol* 2003; **14**: 527–34
- 24 Schafer M, Ciesielski K, Kuss B, Link J. Incorrect placement of a vena cava catheter and its prevention by intra-atrial ECG. *Anaesthesist* 1988; **37**: 49–5

Table 2. Results of the two groups: RIJV and LIJV approach.

	RIJV	LIJV
Method A: ID (cm)	15.7 ± 1.5	20.4 ± 2.2
Method B: ID (cm)	17.6 ± 1.5	22.4 ± 2.2
Mean difference between ID-saline and ID-guide-wire (cm)	2.0 ± 0.2	2.0 ± 0.2
CVCs advanced to achieve free venous backflow	0	0
CVCs in RA (TOE)	0	0
CVCs abutting SVC (CXR)	0	0

Data are the mean ± SD.

in other countries. Unless the subclavian vein is punctured, or the procedure is accompanied by some difficulties, post-insertion chest radiography is considered superfluous if the CVC is placed with ECG guidance.

Proper positioning of CVC concerns two major issues: the concern for patient safety versus the desire for optimal catheter performance. There are numerous reports describing complications attributed to central venous catheter tips positioned within the RA. Although most cases of catheter perforation occur in the RA, perforation of the SVC can also occur [14]. If SVC perforation occurs within the pericardial reflection, a potentially life-threatening cardiac tamponade can still occur. Regarding the pericardial reflection, the major problem is the lack of reliable surface landmarks. Furthermore it cannot be identified on chest radiography.

*In vitro* and *in vivo* studies have shown that an acute angle of the catheter of more than 40° to the wall of the SVC imposes a markedly increased risk of vessel perforation [15]. The risk of perforation is negligible if the catheter runs parallel with the vein. From a clinical point of view, there is no question that a CVC tip should not abut a vessel wall. The significance of this problem increases with the stiffness of the catheter (e.g. multiple-lumen catheters, haemodialysis catheters) [16–20]. In CVCs inserted through the RIJV, abutting of the tip against the vessel wall does only seldom occur. Due to the straight course of a CVC, insertion is best via the RIJV in the neck and upper thorax. Compared with the right side, a catheter inserted through the LIJV is distorted by two curves of up to 90° (the left internal jugular into the left innominate vein and the left innominate vein into the SVC). In this situation the benefit of keeping the catheter tip above the pericardial reflection (thus preventing pericardial tamponade) may be offset by the risk of having the catheter abut the SVC at an acute angle (thus possibly perforating the SVC). Current guidelines on CVC tip position focus only on the risk of tamponade [21]. We believe that an unsatisfactory tip position outside the heart should not be accepted purely to satisfy these guidelines [3].

ECG-guided CVC placement claims to guide the intra-atrial position of the CVC tip by detecting an intra-atrial P-wave (P atriale) with the exploring electrode. The adjacent atrial wall tissue is thought to be responsible for the increase in voltage of the P atriale [3,7]. Based on that assumption the manufacturer recommends withdrawing the catheter by 1–2 cm after normalization of P-wave amplitude to ensure placement outside the atrium. The mean distance between the two catheter ports of the catheter used in our study was 2.5 cm. Provided both techniques identified the same structure, an increase of ID of approximately 2.5 cm between Methods A and B was mandatory.

In our study ECG guidance by saline 10% in the middle lumen, resulted in a mean advancement of 2.0 cm after primary ECG positioning with a guide-wire in the distal catheter lumen in all catheters (this might be explained by the gross scale unit on the catheter and the oblique course of the pericardial reflection). We therefore conclude that we always detected the same structure by both methods of ECG guidance. TOE served as the gold standard in assessing the final CVC position with respect to the RA. In all patients the tip of the CVC could be localized by TOE. The multiplane probe employed allowed a three dimensional assessment of the position of the catheter in relation to the RA and SVC without change of the transducer position. No catheters entered the RA.

Regarding our methodology of positioning the catheter tip 2.0 cm beyond the point where the P-wave had just returned to normal size, one would have expected all 100 CVC tips to be placed within the upper RA. But in our study, not a single CVC was seen beyond the base of the crista terminalis in the RA.

According to this data, we conclude that the anatomical structure corresponding to the ‘intra-atrial’ ECG is not the RA but must be located higher up in the SVC. As the pericardium is a fluid-filled sac (important for electrical conductance), and there is no other anatomical structure beyond it to explain our findings, we conclude that the pericardial reflection is responsible for the electrical phenomenon of first P-wave increase. We agree with the opinion that a catheter withdrawn to a position where no ‘intra-atrial’ ECG can be recorded is located outside the heart [7]. However, we are convinced that catheters placed under such ECG guidance actually are located just outside of the pericardium. Thus a post-insertion chest radiogram is still mandatory in left-sided CVCs placed by ECG guidance using the traditional manufacturers’ guidelines to detect catheters placed in an acute angle. Our data are in contrast to the statement by McGee, that a CVC should not routinely be inserted to a depth of >20 cm [7]. In left-sided CVCs, abutting of the vessel wall can be avoided by a deeper insertion.

## V

---

Schummer W, Schummer C, Paxian M, Stock U,  
Richter K, Bauer M (2005)

Extravasale Lage von zentralen  
Venenkathetern bei korrekter EKG-Ableitung.

**Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther**

40:91-96

W. Schummer<sup>1</sup>  
C. Schummer<sup>1</sup>  
M. Paxian<sup>1</sup>  
U. Stock<sup>2</sup>  
K. Richter<sup>3</sup>  
M. Bauer<sup>1</sup>

## Extravasale Lage von zentralen Venenkathetern bei korrekter EKG-Ableitung

*Extravasal Position of Central Venous Catheters Despite Unsuspicious  
ECG-Guidance*

Originalie

### Zusammenfassung

**Fragestellung:** Kann man anhand eines über einen Seldingerdraht abgeleiteten EKGs auf eine korrekte intravasale Lage eines zentralvenösen Katheters schließen? **Methodik:** Prospektive Beobachtungsstudie an 24 konsekutiven kardiochirurgischen Patienten. Präoperativ wurde durch den Anästhesisten bei 18 Patienten die linke, bei weiteren 6 die rechte V. jugularis interna punktiert. Über einen Seldingerdraht, der in einem Dreilumen-Katheter lag, wurde an 3 verschiedenen intravasalen Positionen das EKG abgeleitet, aufgezeichnet und die P-Welle vermessen; Intra-1: (intravasales Ausgangs-EKG), die 10-cm-Markierung des Katheters auf Hautniveau; Intra-2: deutlicher Anstieg der P-Wellen-Amplitude unter Kathetervorschub; Intra-3: maximale P-Wellen-Amplitude. In dieser Position erfolgte die Lagekontrolle der Katheterspitze mittels transösophagealer Echokardiographie (TEE). Die Fixierung des Katheters erfolgte mit der Spitzenposition bei Intra-3. Intraoperativ wurde durch den Kardiochirurgen ein anderer Katheter mit innen liegendem Seldingerdraht von außen auf folgende 3 Stellen gelegt und das darüber abgeleitete EKG ebenfalls vermessen: Extra-1: V. brachiocephalica links extravasal oberhalb der perikardialen Umschlagfalte; Extra-2: Vena cava superior extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte; Extra-A: Aorta ascendens extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte. Postoperativ wurde ein Röntgen-Thorax angefertigt. **Ergebnisse:** Alle Katheterspitzen waren bei der TEE-Kontrolle an der Basis der Crista terminals, dem Übergang zwischen Vena cava superior und rechtem Vorhof platziert. Auf den Positionen Intra-2, Extra-2 und Extra-A war der Anstieg der P-Wellen-Amplitude gegenüber dem Ausgangs-

### Abstract

**Objective:** Does the electrocardiographic method for central venous catheter positioning distinguish between a correct intravasal and a malpositioned extravasal position? **Methods:** 24 cardiac surgical patients were enrolled in this prospective observational study. In 18 patients the left, in another 6 patients the right internal jugular vein was cannulated. Using a J-wire within a triple-lumen catheter the amplitude of the P-wave was measured at 3 different intravasal sites: Intra-1: (intravasal baseline electrocardiogram), i.e. 10 cm marking of the catheter on skin level; Intra-2: clear rise of the P-wave amplitude upon further insertion of the catheter; Intra-3: maximum P-wave amplitude. At this position the control of the catheter tip was achieved by means of transoesophageal echocardiography (TOE). Intraoperatively, another J-wire within a triple-lumen catheter was placed by the heart surgeon on 3 extravasal sites and the ECG was recorded: Extra-1: extravasal at the left innominate vein above the pericardial reflection; Extra-2: extravasal on the superior vena cava below the pericardial reflection; Extra-A: extravasal on ascending aorta below the pericardial reflection. The catheter was suture fixed with its tip in position Intra-3. Post surgery a chest radiograph was taken. **Results:** All catheter tips were visualised at the basis of the Crista terminals (border between right atrium and superior vena cava) by TOE control. The rise of the P wave amplitude at Intra-2, Extra-2 and Extra-A was highly significant compared to the base line at Intra-1 (Intra-1/Intra-2, Intra-1/Extra-2, Intra-1/Extra-A: p in each case <0.001). The P wave amplitudes of the corresponding intra- and extravasal positions of the left innominate vein (Intra-1/Extra-1, n = 18,

Dieser Beitrag wird von einem Editorial von B. Panning und H. A. Adams begleitet.

#### Institutsangaben

- <sup>1</sup> Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie, Friedrich-Schiller Universität Jena  
<sup>2</sup> Klinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie, Friedrich-Schiller Universität Jena  
<sup>3</sup> Klinik für Allgemeine und Viszerale Chirurgie, Friedrich-Schiller Universität Jena

#### Korrespondenzadresse

Dr. med. Wolfram Schummer, DEAA, EDIC · Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie, Friedrich-Schiller Universität Jena · Erlanger Allee 103 · 07747 Jena · E-mail: cws.m.schummer@gmx.de

#### Bibliografie

Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 2005; 40: 91–96  
© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York · DOI 10.1055/s-2004-826142 · ISSN 0939-2661

wert Intra-1 hochsignifikant (Intra-1/Intra-2, Intra-1/Extra-2, Intra-1/Extra-3:  $p$  jeweils  $< 0,001$ ). Die P-Wellen-Amplituden der sich entsprechenden intra- und extravasalen Positionen in der linken V. brachiocephalica (Intra-1/Extra1,  $n = 18$ ,  $p = 0,096$ )) sowie der V. cava superior (Intra-2/Extra-2,  $n = 24$ ,  $p = 0,859$ ) unterschieden sich nicht. **Schlussfolgerung:** Die Lagekontrolle mittels EKG kann nach den vorliegenden Ergebnissen der intraoperativen extravasalen Ableitung wahrscheinlich auch bei einer Perforation nicht zwischen intra- und extravasaler Lage eines Katheters unterscheiden.

### Schlüsselwörter

Zentraler Venenkatheter · Elektrokardiographie · Sensitivität und Spezifität · Gefäßperforation

$p = 0,096$ )) as well as those of the superior vena cava (Intra-2/Extra-2,  $n = 24$ ,  $p = 0,859$ ) did not differ. **Conclusion:** The electrocardiographic method can not differentiate between intra- and extravasal position of a central venous catheter, and thus, presumably fails to identify malpositioning as a result of vascular perforation.

### Key words

Central venous catheter · electrocardiography · sensitivity and specificity · vessel perforation

### Einleitung

Zentralvenöse Katheter (ZVK) stellen einen wesentlichen Bestandteil der Überwachung und Therapie von kritisch kranken Patienten während Operationen und Intensivtherapie dar und sind aus der klinischen Praxis heute nicht mehr wegzudenken [1].

Neben anderen Komplikationsmöglichkeiten können beim Positionieren des Katheters Fehllagen auftreten, die klinisch nicht sofort erkennbar sind und bei ausbleibender Lagekontrolle möglicherweise zu schwerwiegenden Komplikationen führen [2–6]. Daher muss die korrekte Lage der Katheterspitze kontrolliert werden [4,7–9]. Aufgrund ihrer technischen und logistischen Einfachheit hat sich die elektrokardiographische (EKG)-Lagekontrolle neben anderen Methoden wie der Durchleuchtung und der Röntgenaufnahme des Thorax etabliert, denn auch die Zuverlässigkeit der EKG-Lagekontrolle wird nicht angezweifelt [8,10–12]. In Studien an Schweinen beobachteten wir auch intraaortal einen deutlichen Anstieg der P-Wellen-Amplitude, zudem sind uns Fallberichte von akzidentellen arteriellen Fehllagen bekannt, in denen ebenfalls die EKG-Lagekontrolle keinen Hinweis auf einen Fehllage gegeben hatte [13,14]. Unserer Information nach, ist dies die erste Studie, in der über einen Katheter abgeleitete intra- und extravasale EKGs – an analogen Positionen – miteinander verglichen wurden.

### Methodik

Nach Zustimmung der lokalen Ethikkommission und schriftlichem Einverständnis durch die aufgeklärten Patienten wurden 24 Patienten, die sich einer koronaren Revaskularisierungs-Operation am offenen Thorax unterzogen, in diese prospektive Studie eingeschlossen. Als Bestandteil der normalen klinischen Routine wurden alle Patienten mittels transösophagealer Echokardiographie (TEE) überwacht. Ausschlusskriterien waren: fehlender Sinusrhythmus, frühere Herzoperation, Kontraindikationen für TEE, Versagen bei der Ableitung des EKGs.

Nach klinischer Indikation erfolgte die Anlage eines zentralvenösen 3-Lumenkatheters (Certofix Trio, B. Braun Melsungen AG, Melsungen). Punktiert wurde die V. jugularis interna auf halber Strecke zwischen dem Mastoid und der Fossa jugularis, lateral

der Karotispulsation ( $n = 24$ ; rechts: 6, links: 18). Kardiochirurgisch war die Präparation der V. brachiocephalica links Teil der Darstellung des Operationssitus. Die rechte V. brachiocephalica wurde nicht freigelegt. Wir punktierten daher nach Möglichkeit linksseitig, um an sich entsprechenden extra- und intravasalen Positionen der Vena brachiocephalica links das EKG ableiten zu können.

Nach Punktion, Einlegen des Einführdrahtes und Dilatation des Punktionskanals wurde der Katheter eingeführt. Eine Markierung auf dem Führungsdraht zeigt an, wann der J-Draht die Katheterspitze leicht überragt. Der Draht wurde über eine Krokodilklemme und eine Leitung mit dem Universaladapter verbunden. Dieser ermöglicht über eine Weiche (Certodyn, B. Braun Melsungen AG, Melsungen) die EKG-Registrierung an der Katheterspitze anstelle der rechtsthorakalen EKG-Ableitung (Einthoven II). Unter kontinuierlicher EKG-Ableitung wurde der Katheter vorgeschoben und die EKG-Ableitung in folgenden Positionen durch Papierausdruck registriert:

Intra-1: (Ausgangs-EKG) Katheter ca. 10 cm unterhalb des Hautniveaus

Intra-2: Deutlicher Anstieg der P-Welle

Intra-3: Maximale P-Wellen-Amplitude.

Die Fixierung des Katheters erfolgte an der Position Intra-3. Die Lagekontrolle des ZVKs in dieser Position erfolgte mittels transösophagealer Echokardiographie (TEE) im bicavalen Blick ( $90^\circ$ – $110^\circ$ ). Als „Kontrastmittel“ diente eine über den ZVK applizierte Kurzinfusion.

Nach Eröffnung des Thorax, Präparation des Herzens und Insertion der Kanülen für die Herz-Lungen-Maschine wurde an folgenden extravasalen Positionen durch den Kardiochirurgen – wiederum über einen weiteren Dreilumen-Katheter mit innen liegendem Seldinger-Draht – jeweils ein EKG abgeleitet:

Extra-1: V. brachiocephalica links, extravasal oberhalb der perikardialen Umschlagfalte

Extra-2: V. cava superior extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte

Extra-A: Aorta ascendens extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte (Abb. 1).



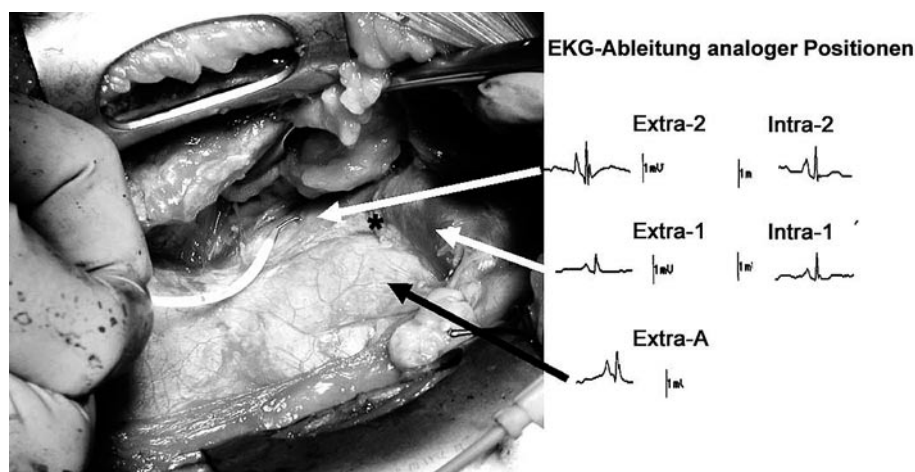


Abb. 1 Operationssitus: Der Katheter mit Seldingerdraht berührt die V. cava superior bei ungeöffneten Perikardsack (Extra-2) unterhalb der perikardialen Umschlagfalte (\*). Zur Darstellung der Veränderung der P-Wellen sind die intra- und extravasalen EKG-Kurven der gekennzeichneten Ableitungspositionen dieses Patienten nebeneinander abgebildet. Intra-1: Ausgangs-EKG intravasal, Intra-2: Deutlicher Anstieg der P-Welle, Intra-3: Maximale P-Wellen-Amplitude, Extra-1: V. brachiocephalica links, extravasal oberhalb der perikardialen Umschlagfalte, Extra-2: V. cava superior extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte, Extra-A: Aorta ascendens extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte.

Dokumentiert wurden zudem das Alter und Geschlecht des Patienten, Punktionsort, Punktionsprobleme, Zahl der Punktionen, die Auslösung einer Arrhythmie, die Position der Katheterspitze im TEE und die etwaige Notwendigkeit einer nachträglichen Lagekorrektur. Teil der postoperativen Routine war die Anfertigung eines Röntgenbildes des Thorax. Die Auswertung der Röntgenbilder und der EKG-Kurven erfolgte durch eine weitere, unbeteiligte Person, um einen Operator-Bias zu vermeiden.

## Statistik

Das computerbasierte Programm SPSS 11.5.1 (SPSS, Chicago, USA) wurde zur statischen Datenverarbeitung und Erstellung von Box-and-Whisker-Plots verwendet. Der Median ist durch Querstrich gekennzeichnet, die untere Grenze der Box entspricht der 25%-Perzentile und die obere Grenze der 75%-Perzentile. Die ober- und unterhalb der Box stehenden Querstriche geben den größten und kleinsten Wert an. Der Vergleich der P-Wellen-Amplitude in Bezug auf die verschiedenen Positionen erfolgte mittels Wilcoxon-Rangsummentest. Eine Signifikanz wurde bei  $p < 0,05$  angenommen. Zur Darstellung der einzelnen P-Wellen-Veränderungen wurde das Programm SigmaPlot 8.0 (Systat Software Inc. (SSI), Richmond, California, USA) angewandt.

## Ergebnisse

Alle 24 Katheter konnten ohne Komplikation in eine korrekte Position eingelegt werden. Bei 18 Patienten wurde die linke, bei weiteren 6 die rechte V. jugularis interna punktiert. Dafür waren 1–3 Punktionsversuche notwendig. Bei keinem Patienten wurde während der ZVK-Positionierung oder während der extrakardialen EKG-Ableitung durch den Seldingerdraht eine Arrhythmie beobachtet (Tab. 1)

In allen Fällen kam es beim Verschieben des Katheters mit dem Draht, also bei Veränderung der Katheterposition von der Ausgangsposition Intra-1 auf Intra-2, sowie Intra-2 auf Intra-3 zu einer signifikanten Erhöhung der P-Wellen-Amplitude ( $n = 24$ , Wilcoxon:  $p$  jeweils  $< 0,001$ ) (Abb. 2 u. 3).

Tab. 1 Demographische und perioperative Patientendaten

	Linke V. jugularis int. ( $n = 18$ )	Rechte V. jugularis int. ( $n = 6$ )
Geschlecht (m/w)	10/8	6/0
Alter (Jahre $\pm$ SD)	68,6 $\pm$ 8,7	72,8 $\pm$ 5,4
Punktionsversuche		
1	10	6
2	6	–
3	2	–
Arrhythmien	0	0
Lagekorrektur nach TEE	0	0

Auch extravasal wurde dieses Phänomen bei den Ableitungen unterhalb der perikardialen Umschlagfalte beobachtet ( $n = 24$ , Wilcoxon: Intra-1/Extra-2, Intra-1/Extra-A:  $p$  jeweils  $< 0,001$ ) (Abb. 3).

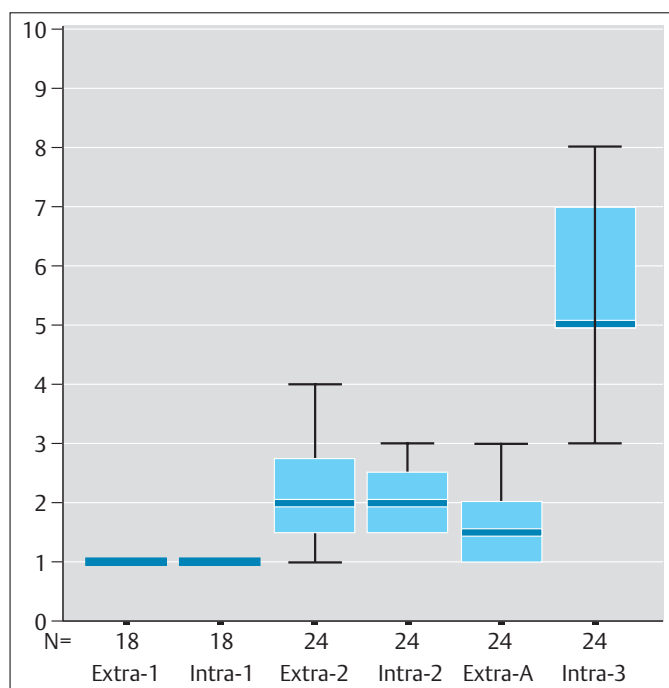
Die P-Wellen-Amplituden der sich entsprechenden intra- und extravasalen Positionen in der linken V. brachiocephalica (Intra-1/Extra-1,  $n = 18$ ,  $p = 0,096$ ) sowie der V. cava superior (Intra-2/Extra-2,  $n = 24$ ,  $p = 0,859$ ) unterschieden sich nicht.

Die Lagekontrolle mittels TEE zeigte, dass alle 24 Katheterspitzen am Übergang der V. cava superior zum Vorhof positioniert waren. Daher war in keinem Fall eine nachträgliche Korrektur der Lage notwendig.

Auch auf keinem postoperativ angefertigten Röntgenbild des Thorax wurden Katheterfehlagen festgestellt, alle Katheter lagen parallel zur Wand der Vena cava superior.

## Diskussion

Zentrale Venenkatheter sollten sobald als möglich auf ihre korrekte Lage hin kontrolliert werden [5,15,16]. Es gibt keine einheitlichen Richtlinien, was die optimale Position der Katheterspitze oder ein Kontrollverfahren betrifft [4,5,9]. Von wenigen Ausnahmen abgesehen gilt es, den Katheter in der Vena cava superior zu positionieren [5]. Eine extravasale Lage muss sicher



**Abb. 2** P-Wellen-Amplituden an den verschiedenen Ableitungsorten als Box-and-Whisker-Plot. Der Strich innerhalb der Box kennzeichnet den Median, die untere Grenze der Box die 25 %-Perzentile und die obere Grenze die 75 %-Perzentile. Die ober- und unterhalb der Box stehenden Querstriche geben den größten und kleinsten Wert an. Intra-1: Ausgangs-EKG intravasal, Intra-2: Deutlicher Anstieg der P-Welle, Intra-3: Maximale P-Wellen-Amplitude, Extra-1: V. brachiocephalica links, extravasal oberhalb der perikardialen Umschlagfalte, Extra-2: V. cava superior extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte, Extra-A: Aorta ascendens extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte.

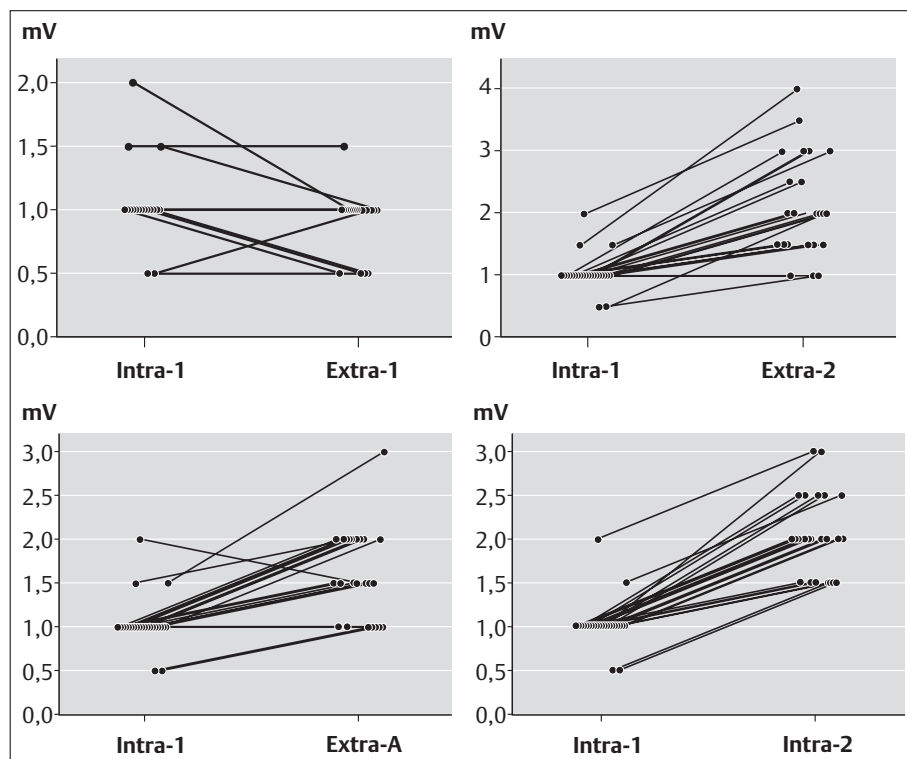
ausgeschlossen werden. Das wesentliche Ergebnis unserer Studie ist, dass sich die P-Wellen-Amplitude analoger intra- und extravasaler Positionen nicht voneinander unterscheiden.

### Lagekontrollverfahren

Kein bekanntes Lagekontrollverfahren kann mit 100%iger Sicherheit alle Fehllagen oder Komplikationen einer ZVK-Anlage nachweisen [5]. Die Aspiration von Blut sollte ungehindert möglich sein [6]. Weitere Zeichen einer richtigen Lage können atem- und pulssynchrone Schwankungen der Flüssigkeitssäule sein. Die ZVK-Lagekontrolle mit diesen klinischen Methoden allein ist aber unzureichend [2]. Darum muss auf technische Hilfsmittel zurückgegriffen werden. Gängige Praxis in der Klinik ist die Röntgen-Kontrolle mittels Durchleuchtung oder die Thoraxaufnahme [10,12]. Ist die Position des ZVK hiermit nicht eindeutig zu identifizieren, empfiehlt sich eine Kontrastmittelinjektion, im Zweifelsfall auch in einer zweiten Ebene [6,17,18]. Weitere Methoden sind die simultane Druckableitung (arteriell und venös) während des Vorschiebens des Katheters, das TEE und die EKG-Methode [10,11,19,20].

Die EKG-Methode wird auch als rechts-atriale Elektrokardiographie bezeichnet. Sie wurde bereits 1949 durch Hellerstein und Mitarbeiter beschrieben [21].

Folgendes Prinzip liegt ihr zugrunde: Zwischen der Katheterspitze, in unserem Fall mit dem Seldinger-Draht als elektrisch leitendem Medium (ersetzt die rechte negative Arm- bzw. Schulter-Elektrode), und einer Oberflächenelektrode wird ein EKG



**Abb. 3** Intraindividuelle Vergleich der P-Wellen-Amplituden: Keine Änderung der P-Wellen-Amplitude zwischen intra- und extravasaler EKG-Ableitung der linken V. brachiocephalica (Intra-1 versus Extra-1, n = 18); deutliche Zunahme der P-Wellen-Amplitude von intravasaler EKG-Ableitung in der V. brachiocephalica auf die der V. cava superior extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte (Intra-1 versus Extra-2, n = 24), und die der Aorta ascendens extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte (Intra-1 versus Extra-A, n = 24). Das gleiche Phänomen wird beim intravasalen Vorschub des Katheters in Richtung des rechten Vorhofes beobachtet (Intra-1 versus Intra-2, n = 24).

(Ableitung II nach Einthoven) abgeleitet. Die Amplitude der P-Welle, die der elektrischen Erregung des rechten Vorhofs entspricht, ist in Höhe des Sinusknotens am größten und besitzt dort eine charakteristische spitze und überhöhte Form, welche sich von der Oberflächenableitung deutlich unterscheidet. Daher wird die Auslösung der überhöhten P-Welle als ein eindeutiger Hinweis auf die Positionierung im Vorhof angesehen [16]. Extra- und analoge intravasale Elektrokardiogramme wurden aber niemals miteinander verglichen.

Die perikardiale Umschlagfalte ist eine anatomische Struktur, die leicht zu erkennen ist. Auch elektrokardiographisch ist sie zu identifizieren. In einer früheren Studie konnten wir nachweisen, dass es an ihr zu einem ersten signifikanten Anstieg der P-Wellen-Amplitude kommt. Innerhalb des Perikardsacks scheint das Abstandsquadrat zum Sinusknoten ausschlaggebend für die Größe und Form der P-Welle zu sein. Intravasal erreicht man die größte Annäherung auf Höhe der Basis der Crista terminalis am Übergang zwischen V. cava superior und Vorhof [13, 22].

Aufgrund dieser Konstellation halten wir die gewählten Ableitungspositionen für vergleichbar:

#### **Intra-1/Extra-1**

Beide liegen deutlich oberhalb der perikardialen Umschlagfalte und zeigen eine normale, nicht überhöhte P-Wellen-Konfiguration. Vergleichen wir nur die linken Katheter (siehe Abb. 1), so entsprechen sich die Ableitungspositionen in etwa, die 10-cm-Markierung des Katheters befand sich im Hautniveau. (Rechte Katheter sollten sich bei der 10-cm-Markierung in der V. brachiocephalica rechts befinden.) Da keine Fehllagen aufgetreten waren, resultierte daraus eine Position der Katheterspitze in der V. brachiocephalica links bei Intra-1.

#### **Intra-2/Extra-2 & Intra-2/Extra-A**

Alle Ableitungspositionen liegen knapp unterhalb der perikardialen Umschlagfalte. Die EKG-Methode zeigt keinen Unterschied zwischen intra- und extravasalem EKG. Aufgrund der operativen Gegebenheiten war es uns nicht möglich, intra- und extravasale EKGs an exakt analogen Positionen abzuleiten. Eine Annäherung an den Sinusknoten von außen (Intra-3 entsprechend) war durch die liegende Vorhofkanüle für den kardiopulmonalen Bypass nicht möglich. Hier können wir nur vermuten, dass ein extravasales EKG ebenfalls eine P-Wellen-Amplitude demonstriert hätte, die der in Position Intra-3 entsprochen hätte.

Eine gängige Ansicht ist, dass die Zunahme der P-Wellen-Amplitude auf die Vena cava superior bzw. den rechten Vorhof beschränkt ist [23]. Schäfer u. Mitarb. berichteten jedoch über einen über die A. carotis malpositionierten ZVK mit einer deutlichen Erhöhung der P-Welle [14]. In einem Review wurde dies später als typisches atriales EKG-Potenzial interpretiert [10]. Es wurde zwar angemerkt, dass der Katheter unbemerkt zwei Herzklappen überwunden hatte, um in den linken Vorhof zu kommen. Dabei wurde unter anderem nicht bedacht, dass der Katheter gar nicht lang genug war, um bis in den linken Vorhof zu reichen. Um dieses Phänomen aufzuklären, leiteten wir in einer Studie an Schweinen das EKG in der Aorta ascendens ab. Wir beobachteten einen signifikanten Anstieg der P-Wellen-Amplitude [22]. In der hier vorliegenden Studie der extravasalen Ableitung

auf der Aorta ascendens unterhalb der perikardialen Umschlagfalte (Extra-A) zeigt sich ebenfalls ein signifikant erhöhtes P. Das Studium der analogen P-Welle intraaortal ist aus offensichtlichen Gründen beim Menschen ethisch nicht vertretbar.

Insgesamt veranschaulichen unsere Daten, dass es auch extravasal unterhalb der perikardialen Umschlagfalte zu einer – nicht nur statistisch signifikanten – P-Wellen-Erhöhung kommt. Damit kann eine korrekte intravenöse Katheterposition nicht eindeutig von einer arteriellen intravasalen Fehllage, einer primär extravasalen Position oder möglichen Perforation unterschieden werden. Die genaue Inzidenz solcher Fehllagen ist nicht bekannt. Wir gehen aber von einem nicht so seltenen Ereignis aus [24, 25]. Auch wir überblicken eine nicht unerhebliche Anzahl dieser Komplikationen, die außerdem für den einzelnen Patienten in der Regel gravierende Konsequenzen hatten.

In Kombination mit dem medizinischen Argument der rascheren Verwendbarkeit, der größeren Unabhängigkeit des Anästhesisten und der fehlenden Strahlenbelastung führen bei der heutigen Budgetierung insbesondere diese wirtschaftlichen Argumente dazu, die EKG-Lagekontrolle zentralvenöser Katheter als Verfahren erster Präferenz anzusehen. (Die EKG-Lagekontrolle mit dem Einführungsdraht kostet weniger als ein Zehntel der Röntgenaufnahmen.) Nach einem richtungsweisenden Gutachten des Berufsverbandes Deutscher Anästhesisten vor über 15 Jahren gilt, dass die EKG-Lagekontrolle ebenso der Sorgfaltspflicht genügt wie die Röntgenkontrolle. Unter dem Gebot der Wirtschaftlichkeit wird hier bereits ein Rechtfertigungszwang für die aufwändigere und wesentlich teurere Methode der Röntgenkontrolle gesehen und empfohlen, dass Lungenübersichtsaufnahmen mit der alleinigen Intention der ZVK-Lagekontrolle unterbleiben [8]. Hier sehen wir eine große Gefahr. Nicht nur, dass Röntgenaufnahmen zur Diagnostik eventueller punktionsbedingter Komplikationen erst verzögert durchgeführt werden und damit zum Beispiel ein Pneumo- oder ein Hämatothorax zu spät erkannt werden könnten [26]. Zudem kann ein Anschlagen der Katheterspitze an die Venenwand (v.a. linksseitige Katheter) nur im Röntgenbild erkannt werden.

Die EKG-gestützte Lagekontrolle kann unserer Meinung nach – zumindest für linksseitige Katheter – nicht als alleinige Methode angewandt werden. Nach klinischen Funktionsproben, die als obligat zu betrachten sind, halten wir in diesen Fällen trotz EKG-Lagekontrolle eine Röntgenaufnahme des Thorax für sinnvoll und erforderlich.

#### **Literatur**

- 1 Krier C. Der zentralvenöse Katheter – eine (einfache) Routinemaßnahme? *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1998; 33: 75–76
- 2 McGee WT, Ackerman BL, Rouben LR, Prasad VM, Bandi V, Mallory DL. Accurate placement of central venous catheters: a prospective, randomized, multicenter trial. *Crit Care Med* 1993; 21: 1118–1123
- 3 Scott WL. Complications associated with central venous catheters. A survey. *Chest* 1988; 94: 1221–1224
- 4 Food-and-Drug-Administration. Precautions necessary with central venous catheters. FDA Task Force. *FDA Drug Bulletin* 1989; July: 15–16

- <sup>5</sup> Fletcher SJ, Bodenham AR. Safe placement of central venous catheters: where should the tip of the catheter lie? *Br J Anaesth* 2000; 85: 188–191
- <sup>6</sup> Tocino IM, Watanabe A. Impending catheter perforation of superior vena cava: radiographic recognition. *AJR Am J Roentgenol* 1986; 146: 487–490
- <sup>7</sup> Schulz F, Sperhake K, Tsokos M. Tödliche Herzbeuteltamponade durch Fehllage eines zentralen Venenkatheters. *Rechtsmedizin* 1999; 9: 62–64
- <sup>8</sup> Weissauer W. Der Cava-Katheter aus medico-legaler Sicht. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1998; 33: 117–118
- <sup>9</sup> Vesely TM. Central venous catheter tip position: a continuing controversy. *J Vasc Interv Radiol* 2003; 14: 527–534
- <sup>10</sup> Michaelis G, Biscopig J. Entwicklung und derzeitiger Stand der elektrokardiographischen Lagekontrolle zentralvenöser Katheter. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1998; 33: 106–110
- <sup>11</sup> Koscielniak-Nielsen ZJ, Otkjaer S, Hansen OB, Hemmingsen C. CVP catheter electrocardiography: an alternative to radiographic control after cannulation of central veins? *Acta Anaesthesiol Scand* 1991; 35: 762–766
- <sup>12</sup> Roewer N, Engelhardt W. Lagekontrolle zentralvenöser Katheter – die Qual der (Methoden-) Wahl. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1998; 33: 105–106
- <sup>13</sup> Schummer W, Schummer C, Schelenz C, Brandes H, Stock U, Müller T, Leder U, Hüttemann E. Central venous catheters – the inability of “intra-atrial ECG” to prove adequate positioning. *Br J Anaesth* 2004; 93: 193–198
- <sup>14</sup> Schäfer M, Ciesielski K, Kuss B, Link J. Cavakatheterfehllage und ihre Vermeidung durch intra-atriale EKG-Ableitung. *Anaesthesist* 1988; 37: 49–51
- <sup>15</sup> Michaelis G, Biscopig J, Hempelmann G. Die Platzierung des zentralvenösen Katheters unter EKG-Kontrolle. *Anästhesiol Intensivmed* 1988; 30: 272–278
- <sup>16</sup> Salmela L, Aromaa U. Verification of the position of a central venous catheter by intra-atrial ECG. When does this method fail? *Acta Anaesthesiol Scand* 1993; 37: 26–28
- <sup>17</sup> Schummer W, Schummer C, Reinhold L. Differenzialdiagnose links-thorakaler Venenkatheter am Beispiel einer persistierenden linken oberen Hohlvene. *Anaesthesist* 2002; 51: 726–730
- <sup>18</sup> Wunderbaldinger P. „Tubes and lines“ im Thoraxröntgenbild: Fehlpositionen und Komplikationen. *Wien Med Wochenschr* 2001; 151: 524–531
- <sup>19</sup> Andropoulos DB, Stayer SA, Bent ST, Campos CJ, Bezold LI, Alvarez M, Fraser CD. A controlled study of transesophageal echocardiography to guide central venous catheter placement in congenital heart surgery patients. *Anesth Analg* 1999; 89: 65–70
- <sup>20</sup> Arndt GA, Felton T, Finucane B, Santora A. Confirmation of internal jugular vein cannulation: the Finucane technique. *Can J Anaesth* 1993; 40: 1220–1221
- <sup>21</sup> Hellerstein HK, Pritchard WH, Lewis RL. Recording of intracavity potentials through a single lumen, saline filled catheter. *Proc Soc Exp Biol Med* 1949; 71: 58–60
- <sup>22</sup> Schummer W, Schummer C, Müller A, Steenbeck J, Fuchs J, Bredle D, Hüttemann E. ECG-guided central venous catheter positioning: does it detect the pericardial reflection rather than the right atrium? *Eur J Anaesthesiol* 2004; 21: 600–605
- <sup>23</sup> Wilson RG, Gaer JA. Right atrial electrocardiography in placement of central venous catheters. *Lancet* 1988; 1: 462–463
- <sup>24</sup> Domino KB, Bowdle TA, Posner KL, Spittellie PH, Lee LA, Cheney FW. Injuries and liability related to central vascular catheters: a closed claims analysis. *Anesthesiology* 2004; 100: 1411–1418
- <sup>25</sup> Muhm M, Sunder-Plassmann G, Apsner R, Pernerstorfer T, Rajek A, Lassnigg A, Prokesch R, Derfler K, Druml W. Malposition of central venous catheters. Incidence, management and preventive practices. *Wien Klin Wochenschr* 1997; 109: 400–405
- <sup>26</sup> Gladwin MT, Slonim A, Landucci DL, Gutierrez DC, Cunnion RE. Cannulation of the internal jugular vein: is postprocedural chest radiography always necessary? *Crit Care Med* 1999; 27: 1819–1823

## **VI.**

---

Schummer W, Schummer C, Schelenz C, Schmidt P,  
Fröber R, Hüttemann E (2005)

Optimierte Positionierung zentraler  
Venenkatheter durch eine modifizierte  
Anwendung der intravasalen  
Elektrokardiographie .- Validierung mithilfe der  
transösophagealen Echokardiographie.

**Anaesthesist 54:983-990**



W. Schummer<sup>1</sup> · C. Schummer<sup>1</sup> · C. Schelenz<sup>1</sup> · P. Schmidt<sup>2</sup> · R. Fröber<sup>3</sup>  
 E. Hüttemann<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie, Klinikum der Friedrich-Schiller-Universität, Jena · <sup>2</sup> Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Klinikum der Friedrich-Schiller-Universität, Jena  
<sup>3</sup> Institut für Anatomie I, Klinikum der Friedrich-Schiller-Universität, Jena

# Optimierte Positionierung zentraler Venenkatheter durch eine modifizierte Anwendung der intravasalen Elektrokardiographie

Validierung mithilfe der transösophagealen Echokardiographie

**Z**entrale Venenkatheter (ZVK) sind aus der Medizin nicht mehr wegzudenken. Ihre Anlage ist in den letzten Jahrzehnten ein Routineverfahren geworden. In den USA werden jährlich bis zu 6 Mio. ZVKs gelegt, in Deutschland ca. 1,9 Mio. (persönliche Mitteilung B.Braun Melsungen AG 2005).

Aufgrund ihrer technischen und logistischen Einfachheit hat sich die elektrokardiographische (EKG)-Lagekontrolle neben anderen Methoden, wie der Durchleuchtung und der Thoraxröntgenaufnahme, etabliert. Die Amplitude der P-Welle, die der elektrischen Erregung des rechten Vorhofs entspricht, verändert sich mit Vorschub der Elektrode in Richtung des Vorhofs. Laut McGee et al. ist sie im rechten Vorhof am größten und besitzt dort eine charakteristische Spitze und überhöhte Form, die sich von der externen Hautableitung deutlich unterscheidet [18]. Daher wurde bislang die Darstellung der überhöhten P-Welle als ein eindeutiger Hinweis auf die Positionierung im rechten Vorhof angesehen [19, 23, 34].

Die gängige Praxis – konkordant mit den Herstellerempfehlungen – besteht darin, nach dem Aufsuchen der charakteristischen P-Wellen-Veränderung den Katheter bis zu einer Normalisierung der P-Welle zurückzuziehen, z. T. auch noch 2–3 cm darüber hinaus. Unsere bisherigen Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass P-

Wellen-Erhöhen bereits außerhalb des Herzens (extraatrial; bei extravasalen und intraaortalen Fehllagen) zu beobachten sind [25, 26, 27, 28, 29]. In dieser Studie evaluierten wir deshalb mittels der transösophagealen Echokardiographie (TEE) ein modifiziertes Vorgehen zur Optimierung der ZVK-Spitzen-Positionierung, platziert mithilfe der EKG-Kontrolle auf die Position der maximalen P-Wellen-Amplitude (P-max).

## Methodik

Nach Zustimmung der lokalen Ethikkommission und schriftlichem Einverständnis wurden 200 Patienten, die sich einer koronaren Revaskularisierungsoperation am offenen Thorax unterzogen, in diese prospektive Studie aufgenommen. Als Bestandteil des regulären Behandlungsregimes erhielten alle Patienten einen zentralvenösen 3-Lumenkatheter (Certofix<sup>®</sup> Trio, B.Braun, Melsungen) und wurden intraoperativ mit der TEE überwacht. Ausschlusskriterien waren: fehlender Sinusrhythmus, frühere Herzoperation, bekannte oder vermutete Abweichungen von der normalen Hals- und Gefäßanatomie, Kontraindikationen für die TEE. Die Patienten wurden computergestützt in 2 Gruppen randomisiert: In der einen Gruppe wurde die rechte, in der anderen Gruppe die linke V. jugularis punktiert. Nach Narkoseeinleitung und

endotrachealer Intubation erfolgte die Lagerung der Patienten zur Anlage des zentralvenösen Katheters. Unter sterilen Bedingungen wurde die V. jugularis interna auf halber Strecke zwischen dem Mastoid und der Fossa jugularis, lateral der Karotispulsation ( $n=200$ ; rechts: 100, links: 100) punktiert. Bei jedem Patienten wurden 2 Methoden zur Bestimmung der Position der Katheterspitze nacheinander durchgeführt:

1. EKG-gestützte ZVK-Positionierung,
2. Positionsbestimmung der Katheterspitze in der TEE.

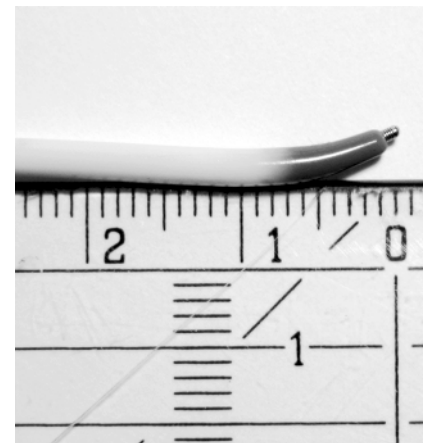


Abb. 1 ▲ Der Seldinger-Draht überragt die Katheterspitze bei der Ableitung des intraatrialen EKGs leicht

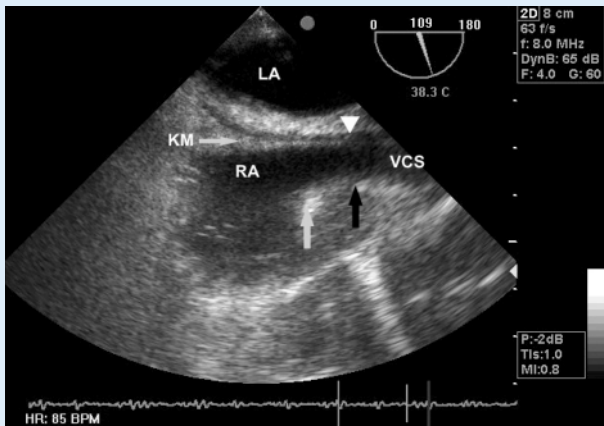


Abb. 2 ▲ Im bikavalen Blick der transösophagealen Echokardiographie erkennt man die Katheterspitze (Pfeilspitze) an der Basis der Crista terminalis (schwarzer Pfeil). Die Kontrastmittelwolke (KM) tritt in den rechten Vorhof (RA) aus. LA linker Vorhof, VCS V. cava superior, grauer Pfeil Crista terminalis

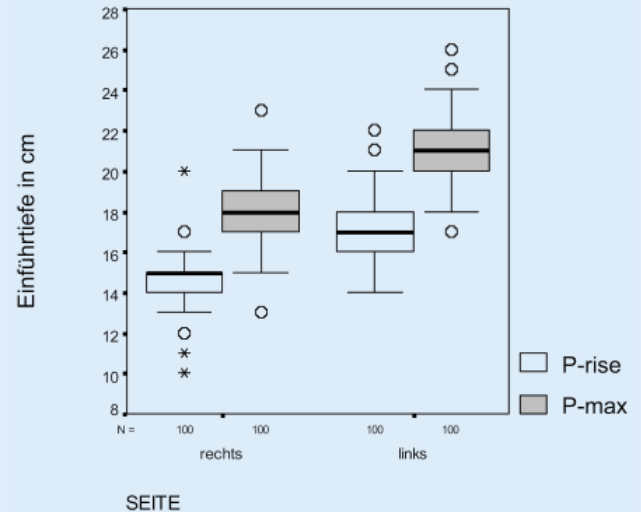


Abb. 3 ▲ Einführtiefe der Zentralvenenkatheters bei erstem Anstieg der P-Wellen Amplitude (P-rise) und auf Höhe der maximalen P-Wellen-Amplitude (P-max), aufgeteilt nach Punksionsseiten (rechts: n=100, links: n=100). Box-and-Whiskers-Plots. Kreise Ausreißer, Sternchen Extremwerte

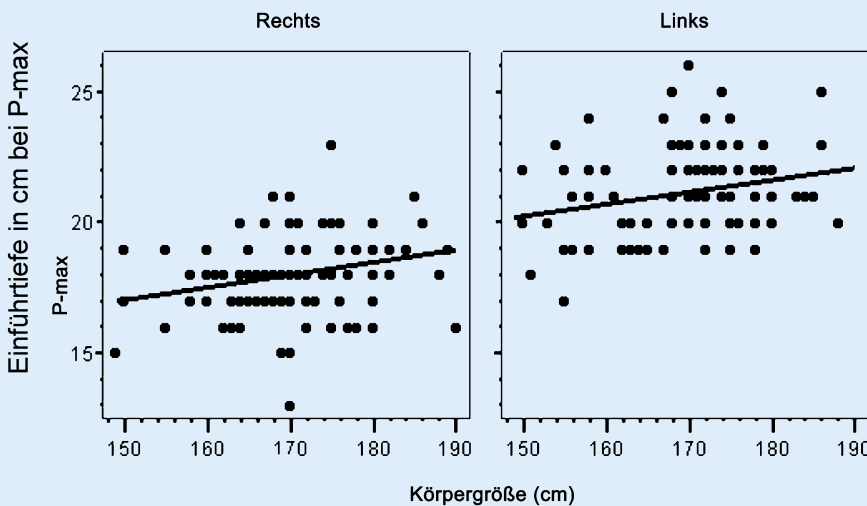


Abb. 4 ◀ Die Einführtiefe des Zentralvenenkatheters korreliert nicht mit der Körpergröße (rechts:  $r=0,262$ , links:  $r=0,242$ )

#### EKG-gestützte ZVK-Positionierung.

Nach Punktion, Einlegen des Einführungsdrahts und Dilatation des Punktionskanals wurde der Katheter eingeführt. Zur Lagekontrolle mit der EKG-Methode wurde der Seldinger-Draht als leitendes Medium verwendet. Eine Markierung auf dem Führungsdraht zeigt an, wann der J-Draht die Katheterspitze leicht überragt (■ Abb. 1). In dieser Position wurde der Draht über eine Krokodilklemme und eine Leitung mit dem Universaladapter verbunden. Dieser ermöglicht über eine Weiche (Certodyn®, B. Braun, Melsungen) die EKG-Registrierung anstelle der rechts-thorakalen EKG-Ableitung (Einthoven-II-Ableitung). Unter kontinuierlicher EKG-Ableitung wurde der Katheter – be-

ginnend von der 10-cm-Markierung – in 1-cm-Schritten tiefer eingeführt und die Einführtiefe des Katheters beim Anstieg der P-Wellen-Amplitude notiert („P-rise“). Dann wurde der Katheter weiter vorgeschoben, bis sich die P-Wellen-Amplitude nach einem Maximum wieder verkleinerte. Danach wurde der Katheter wieder auf die Position mit der größten P-Wellen-Amplitude („P-max“) zurückgezogen und dort – nach Prüfung der Lumina auf freie Aspirierbarkeit – fixiert. Diese Einführtiefe wurde ebenfalls notiert.

**Positionsbestimmung der Katheterspitze in der TEE.** Die Lagekontrolle des ZVK erfolgte nun mit der TEE (multiplane Sonde, 6,2 MHz, HP Sonos 5500, Philips, An-

dover, USA) durch einen zweiten Anästhesisten, der über die Einführtiefe des Katheters nicht informiert war. Entsprechend den Richtlinien der American Society of Echocardiography/Society of Cardiovascular Anesthesiologists (ASE/SCA) und Literaturempfehlungen [31] wurde aus der mit-ösophagealen Position der sog. bikavale Blick mit einem Winkel von 80–110° gewählt. Hier wird der Übergang der V. cava superior in den rechten Vorhof und der Ursprung der Crista terminalis sichtbar. Als „Kontrastmittel“ diente eine über das distale Lumen des ZVK applizierte Kurzinfusion (■ Abb. 2).

Bei allen kardiochirurgischen Patienten wurde – als Teil der klinischen Routine – unmittelbar nach dem Eintreffen

Anaesthesist 2005 · 54:983–990  
DOI 10.1007/s00101-005-0886-2  
© Springer Medizin Verlag 2005

W. Schummer · C. Schummer · C. Schelenz · P. Schmidt · R. Fröber · E. Hüttemann

### Optimierte Positionierung zentraler Venenkatheter durch eine modifizierte Anwendung der intravasalen Elektrokardiographie. Validierung mithilfe der transösophagealen Echokardiographie

#### Zusammenfassung

**Hintergrund.** Ein etabliertes Verfahren der Lagekontrolle zentralvenöser Katheter (ZVK) ist die sog. intraatriale Elektrokardiographie. Bislang wird eine intraatriale Position angenommen, wenn die P-Welle signifikant erhöht ist. In früheren Studien konnte jedoch gezeigt werden, dass eine P-Amplituden-Erhöhung auch bei extraatrialen, extravasalen oder intraarteriellen Fehllagen in der Aorta ascendens auftritt. Daher evaluierten wir einen modifizierten Ansatz zur Platzierung der ZVK-Spitze bei Auftreten der maximalen P-Wellen-Amplitude mithilfe der transösophagealen Echokardiographie (TEE).

**Patienten und Methode.** In dieser prospektiven randomisierten Studie wurden bei jeweils 100 Patienten die rechte bzw.

die linke V. jugularis interna kanüliert. Die Katheterspitze wurde mithilfe des Elektrokardiogramms (EKG) platziert. Der Katheter wurde an der Stelle fixiert, an der die P-Welle die größte Amplitude erreichte. Die Einführtiefe wurde notiert. Mit Hilfe der TEE wurde die Lage der ZVK-Spitze in Relation zur Crista terminalis bestimmt.

**Ergebnisse.** Mithilfe der intraatrialen Elektrokardiographie konnte immer eine maximale P-Welle definiert werden. Alle ZVK-Spitzen lagen innerhalb einer Distanz von  $\pm 0,5$  cm zur Basis der Crista terminalis am Übergang der V. cava sup. zum rechten Vorhof. Radiologisch lagen alle Katheter zudem parallel zum Verlauf der V. cava superior.

**Schlussfolgerung.** Die maximale P-Wellen-Amplitude (Einthoven-II-Ableitung) wird bereits im Vorhofeingang abgeleitet. Dies erklärt, dass im Gegensatz zur üblichen Methode der EKG-gestützten ZVK-Positionierung unser Ansatz regelhaft in einer korrekten Lage der Katheterspitze am Übergang zum rechten Vorhof mit parallelem Verlauf des Katheters zur V. cava superior resultierte.

#### Schlüsselwörter

Zentrale Venenkatheterisierung · Intraatriale Elektrokardiographie · Transösophageale Echokardiographie · Anatomie des rechten Vorhofs · Thoraxröntgenaufnahme

### Modified ECG-guidance for optimal central venous catheter tip positioning. A transesophageal echocardiography controlled study

#### Abstract

**Background.** Intraatrial electrocardiography (ECG) is a well-established method for central-venous catheter (CVC) placement and an intraatrial position is assumed, when a significantly increased P-wave is registered. However, an increase in P-wave amplitude also occurs in other positions. Therefore we evaluated CVC tip positioning by means of transesophageal echocardiography (TEE) at a maximum P-wave amplitude.

**Patients and methods.** In this prospective randomized study the right or left internal jugular vein was cannulated with 100 patients in each group and catheter tip posi-

tioning was guided by means of ECG. The catheter was fixed at the position of maximum P-wave amplitude and the insertion depth was registered. The relationship of the CVC tip position to the superior edge of the crista terminalis was demonstrated with the help of TEE.

**Results.** In all patients the catheter tip was found  $\pm 0,5$  cm from the superior edge of the crista terminalis at the transition from the superior vena cava to the right atrium. On x-ray control, all catheters ran along the length of the vessel wall of the superior vena cava.

**Conclusions.** A maximum P-wave is derived even at the entrance to the right atrium. This explains why ECG-guided CVC placement – based on the largest P-wave amplitude – consistently resulted in correct positioning of the CVC tip at the transition from the superior vena cava to the right atrium.

#### Keywords

Central venous catheterization · Transesophageal echocardiography · Anatomy of the right atrium · Intraatrial electrocardiography · Chest x-ray



Tabelle 1

Demographie und Ergebnisse		
	Rechts (n=100)	Links (n=100)
<i>Mittelwert ± Standardabweichung (Spannweite)</i>		
Geschlecht (weiblich/männlich)	29/71	28/72
Alter [Jahre]	64,8±10,5 (26–82)	66,0±10,6 (29–86)
Größe [cm]	170,4±8,4 (149–190)	169,8±8,7 (150–188)
Gewicht [kg]	81,8±13,8 (50–124)	79,6±12,6 (51–110)
Bodymass-Index	28,2±4,3 (19,3–40)	27,6±3,9 (19,7–39,1)
Einführtiefe des ZVK bei P-rise [cm]	14,6±1,4 (10–20)	17,2±1,4 (14–22)
Einführtiefe des ZVK bei P-max [cm]	18±1,6 (13–23)	21±1,7 (17–26)
Position der Katheterspitze im TEE	100	100
Basis der Crista terminalis±0,5 cm	0	0
Rechter Vorhof: Notwendigkeit einer nachträglichen Lagekorrektur	0	0
ZVK-Anlage bedingte Herzrhythmusstörung	0	0
Parallelität des ZVK mit der V. cava superior	100	100

ZVK Zentralvenenkatheter.

auf der Intensivstation eine Röntgenaufnahme des Thorax im Liegen angefertigt. Das Patientenarchivierungs- und Kommunikationssystem (PACS, Image Devices GmbH, Idstein, Deutschland) wurde herangezogen, um die digitalisierten Röntgenaufnahmen auszuwerten. Der Winkel zwischen dem ZVK und der lateralen Wand der V. cava superior wurde durch einen geblinden Radiologen ausgemessen und dokumentiert. Parallelität wurde bei einem Winkel unter 20° angenommen. Neben der Einführtiefe des ZVK bei erstem Anstieg der P-Wellen-Amplitude (P-rise) und auf Höhe der maximalen P-Wellen-Amplitude (P-max) wurden Alter, Geschlecht, Größe und Körpergewicht des Patienten, Punktionsseite, Auslösung einer Arrhythmie, Position der Katheterspitze im TEE und etwaige Notwendigkeit einer nachträglichen Lagekorrektur sowie Parallelität des ZVK mit der V. cava superior dokumentiert.

## Statistik

Das computerbasierte Programm SPSS 11.5.1 (SPSS, Chicago, USA) wurde zur statistischen Datenverarbeitung und Erstellung der Graphiken verwendet.

Zur Prüfung auf Normalverteilung wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test ver-

wendet. Wenn dieser Test für das geprüfte Merkmal in beiden Patientengruppen (rechts und links) Verträglichkeit mit einer Normalverteilung anzeigte, konnten die Gruppen mit dem T-Test für unabhängige Stichproben verglichen werden. Das traf für die Merkmale Gewicht und Bodymass-Index (BMI) zu. Bei den Merkmalen Größe und Alter gab es in jeweils einer der beiden Gruppen keine Normalverteilung. Für diese beiden Merkmale wurde deshalb der U-Test angewandt. Der Gruppenunterschied bezüglich der Geschlechtsverteilung erfolgt mit dem  $\chi^2$ -Test. Das Signifikanzniveau für T-Test, U-Test und  $\chi^2$ -Test wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt. Die Korrelation der Einführtiefe (P-max) zur Körpergröße wurde mithilfe der Pearson-Korrelationsberechnung überprüft.

Die Verteilung der Einführtiefen ist in Box-and-Whiskers-Plots dargestellt. Mit jedem Kasten werden Median, Quartile und Extremwerte in einer Kategorie angezeigt. Dabei ist der Median durch einen Querstrich gekennzeichnet; die untere Grenze der Box entspricht der 25%-Perzentile und die obere Grenze der 75%-Perzentile. Ausreißer (Kreise) sind Fälle mit Werten, die zwischen 1,5 und 3 Boxlängen vom oberen oder unteren Rand der Box entfernt sind. Extremwerte (Sternchen)

sind Fälle mit Werten, die mehr als 3 Boxlängen von der oberen oder unteren Kante des Balkens entfernt sind.

## Ergebnisse

Bei 100 Patienten wurde die linke, bei weiteren 100 die rechte V. jugularis interna punktiert. Die beiden Gruppen waren in Alter ( $p=0,342$ ), Geschlecht ( $p=0,25$ ), Größe ( $p=0,962$ ), Gewicht ( $p=0,358$ ) und BMI ( $p=0,425$ ) vergleichbar. Bei allen Kathetern wurde eine korrekte Position erzielt. Außer vorbestehender vereinzelter supraventrikulärer bzw. ventrikulärer Extrasystolen, die nicht im Zusammenhang mit der ZVK-Anlage standen, traten keine weiteren Arrhythmien auf (■ Tabelle 1).

In allen Fällen kam es beim Vorschieben des Katheters mit dem Seldinger-Draht zunächst zu einem geringen (P-rise), dann deutlichen Anstieg der P-Wellen-Amplitude. Nach Erreichen eines Maximums (P-max) wurden unter weiterem Vorschub alle P-Wellen wieder kleiner. Nach Rückzug auf P-max wiesen alle Katheterspitzen im TEE eine korrekte Lage auf. Sie befanden sich maximal 0,5 cm ober- oder unterhalb der Basis der Crista terminalis (Übergang zwischen Vorhof und V. cava superior). Blut war jeweils über alle 3 Lumina der ZVKs frei aspirierbar. In keinem Fall war eine nachträgliche Lagekorrektur erforderlich.

Die Einführtiefe beim ersten Anstieg der P-Welle variierte rechts zwischen 10 und 20 cm, links zwischen 14 und 22 cm. Die Einführtiefe des Katheters beim Erreichen der maximalen P-Wellen-Amplitude lag rechts zwischen 13 und 23 cm, links zwischen 17 und 26 cm (■ Abb. 3). Die Differenz zwischen diesen beiden Messpunkten betrug rechts 3–5 cm, links 3–7 cm. Körpergröße und Einführtiefe des Katheters bei P-max korrelierten nur schwach miteinander, obwohl die Korrelationskoeffizienten signifikant von Null abwichen. Das zeigen die niedrigen Werte der Korrelationskoeffizienten und die graphischen Darstellungen im Streudiagramm (rechts:  $r=0,262$ ,  $p=0,009$ , links:  $r=0,242$ ,  $p=0,015$ ; ■ Abb. 4).

Der Winkel des ZVK zur lateralen Wand der V. cava superior war in der postoperativ durchgeführten Röntgenkontrolle bei allen Patienten kleiner als 20°.

## Diskussion

Die Lagebeschreibung und -beurteilung zentraler Venenkatheter unterliegt der Sorgfaltspflicht des Arztes, um Fehllagen und daraus resultierende Komplikationen beheben bzw. vermeiden zu können. Allerdings gibt es weder eine offizielle Leitlinie zur richtigen Position der Katheterspitze noch zu einem optimalen Kontrollverfahren [9, 10, 33].

Kein bekanntes Lagekontrollverfahren kann mit 100%iger Sicherheit alle Fehllagen oder Komplikationen einer ZVK-Anlage nachweisen bzw. ausschließen [9]. Die Aspiration von Blut durch alle Lumina sollte ungehindert möglich sein [32]. Weitere Zeichen einer richtigen Lage können atem- und pulssynchrone Schwankungen der Flüssigkeitssäule sein. Die ZVK-Lagekontrolle mit diesen klinischen Methoden allein ist aber häufig unzureichend [18]. Darum muss auf technische Hilfsmittel zurückgegriffen werden. Die derzeit am weitesten verbreitete Methode ist die röntgenologische Lagekontrolle [10, 18, 21]. Doch auch hierbei können Beurtei-

lungsprobleme auftreten. Eine kontrastmittelverstärkte Röntgenaufnahme, im Zweifelsfall in einer zweiten Ebene, die Durchleuchtung oder Schnittbildgebungen, wie die Computertomographie bzw. die Magnetresonanztomographie, können zur Lageverifizierung herangezogen werden [24, 32, 35]. Auch mit der TEE ist die Visualisierung der Katheterspitze möglich und gut validiert [1, 25, 27].

Eine weitere etablierte und häufig praktizierte Methode ist die intravasale Elektrokardiographie, die auch als rechts-atriale Elektrokardiographie bezeichnet wird [34]. Dieses Verfahren wurde bereits 1949 durch Hellerstein et al. beschrieben [14].

Die von uns angewandte Technik der intravasalen Elektrokardiographie weicht von der üblichen Praxis und den Empfehlungen des Herstellers ab (<http://www.cvc-partner.de/de.html>), der folgende Vorgehensweise propagiert: „Zwischen der Katheterspitze und einer Oberflächenelektrode wird ein EKG abgeleitet, das sich beim Verschieben des ZVK in die Nähe des Herzens in charakteristischer Weise ändert, so

dass bereits bei der Anlage des Katheters die Position mithilfe des EKG kontrolliert werden kann. Von entscheidender Bedeutung ist die Erhöhung der P-Welle im EKG bei Eintritt der Katheterspitze in den rechten Vorhof bzw. deren Normalisierung durch das Zurückziehen des Katheters (Umschlagpunkt). Indem der Katheter um weitere 2–3 cm zurückgezogen wird, erreicht der Katheter seine korrekte Position.“

Bei diesem Vorgehen besteht allerdings, insbesondere bei Anlage der Katheter von links, die Gefahr, dass der Katheter in einem ungünstigen Winkel zur Venenwand liegt. In-vitro- und In-vivo-Studien haben gezeigt, dass die Gefahr der Gefäßperforation signifikant ansteigt, wenn der Winkel zwischen Venenwand und Katheter mehr als 40° beträgt [11]. Aus klinischer Sicht gibt es keinen Zweifel darüber, dass ein Anschlagen der Katheterspitze an die Venenwand nicht auftreten sollte [3, 9, 25, 27]. Auf der postoperativen ap-Aufnahme wurde der Winkel zwischen den Kathetern und der lateralen Wand der V. cava superior bestimmt. Er überschritt in kei-

# Hier steht eine Anzeige.

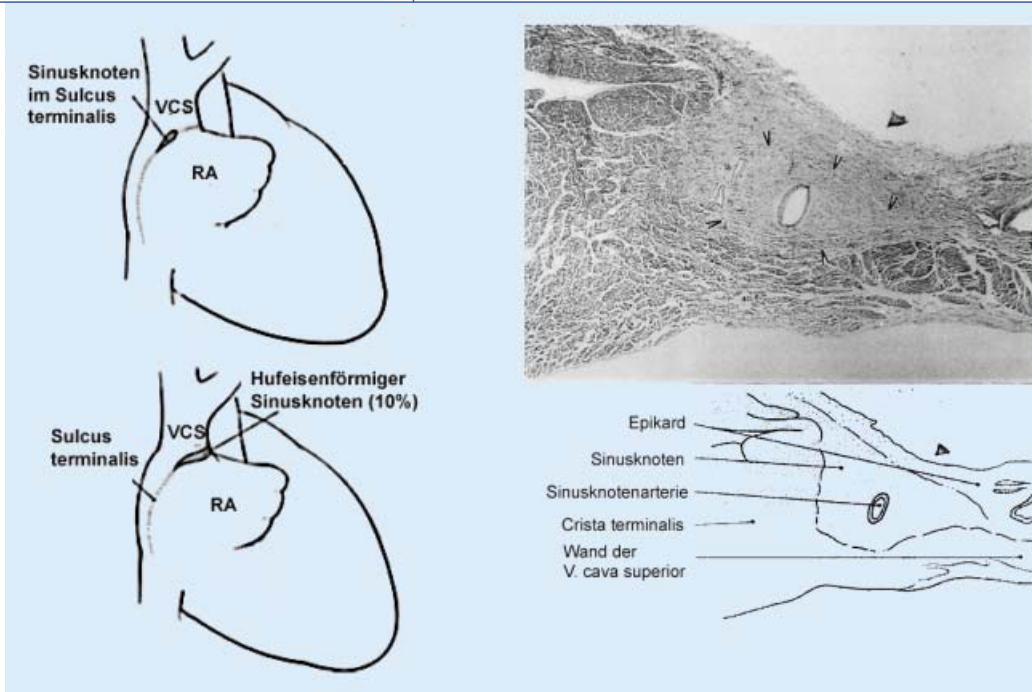


Abb. 5 ◀ **Sinusknoten: Anatomie und Histologie (VCS V. cava superior; RA rechtes Atrium)**

nem Fall 20°. Bei fehlendem zweiten Strahlengang und Verzicht auf Kontrastmittel kann allerdings eine geringfügige Abweichung der Katheterspitze nach dorsal bzw. ventral nicht sicher ausgeschlossen werden.

Aufgrund der Anatomie und der im Folgenden aufgeführten elektrophysiologischen Phänomene haben wir die Methode der intravasalen Elektrokardiographie neu bewertet und unsere Vorgehensweise daran angepasst. Mithilfe dieser modifizierten Technik der intravasalen kontinuierlichen EKG-Ableitung ließen sich alle 200 Katheter am Vorhofeingang positionieren. In der TEE lagen alle Katheter innerhalb von 0,5 cm zur Basis der Crista terminalis. Auch die klinische Funktion der Katheter konnte durch freie Aspirierbarkeit von Blut über alle Lumina dokumentiert werden. Unsere Studie zeigt, dass eine deutlich erkennbare Erhöhung der P-Wellen-Amplitude bereits etwa 3 cm vor Erreichen der maximalen Amplitude auftrat. Im postoperativen Röntgenbild konnte gezeigt werden, dass alle Katheter auch parallel zur lateralen Wand der V. cava superior verliefen.

Der rechte Vorhof baut sich aus 3 Grundstrukturen auf: Herzohr, Vestibulum und venöser Anteil. Der Übergang vom Herzohr zum venösen Anteil ist nach außen als Sulcus terminalis und nach innen als Crista terminalis erkenn-

bar [5]. Die Crista terminalis zieht von der mediokraniellen V. cava superior/Vorhofgrenze nach anterolateral und verjüngt sich dabei. Der Sinusknoten, eine elliptische Struktur, 10–20 mm lang, liegt typischerweise im anterior-superioren Teil des Sulcus terminalis, ist aber sehr variabel. So sind beispielsweise halbmondförmige, die Mündung der V. cava superior ventral umgebende Sinusknoten beschrieben worden [12]. Der Sinusknoten besteht aus histologisch auffälligen („distinct“) Zellen, die in einer festen fibrösen Matrix liegen, von der benachbarten Arbeitsmuskulatur jedoch nicht streng abgegrenzt sind (■ Abb. 5).

Die Vorhofdepolarisation beginnt im Sinusknoten und breitet sich über den rechten Vorhof nach links, vorn und unten zum linken Vorhof aus. Die P-Welle entspricht der elektrischen Erregung des rechten Vorhofs. Crista terminalis und anteriorer Limbus der Fossa ovalis sind bevorzugte Haupttrouten der Erregungsausbreitung im rechten Vorhof [16].

Die im Myokard als Resultat aus Erregung und Erregungsrückbildung entstehenden elektromotorischen Kräfte verursachen Ströme im ganzen Körper und elektrische Potenziale auf der Haut. Die *Ableitungstheorie* handelt von dem Verhältnis zwischen elektrischen Quellen des Herzens und den Spannungsdifferenzen, die sie in den Ableitungen generieren.

Zwei Komponenten werden dabei separat betrachtet [16]:

1. Die aktive elektrische Quelle des Herzens, die sich auf die Herzregion beschränkt. Hier interessieren uns v. a. zwei funktionell und anatomisch separate Arten von Muskelzellen, die – im Einklang stehend mit ihren verschiedenen Funktionen – unterschiedliche elektrophysiologische und morphologische Eigenschaften besitzen:
  - Sinuatrialer Knoten mit Schrittmacherfunktion. Die Amplitude seines Aktionspotenzials (AP) ist insgesamt niedrig.
  - Atrialer Muskel (primär kontraktiles Gewebe). Die kontraktilen Zellen haben ein relativ hohes Ruhepotenzial und eine schnelle „AP-upstroke-Geschwindigkeit“. Die Leitungsgeschwindigkeit ist groß, sie sind leicht zu stimulieren, und die AP-Amplituden sind hoch.
2. Extrakardiale leitende Gewebe, der „volume conductor“. Dazu gehören Fern- und Nahfeld sowie die Widerstände der einzelnen Strukturen:
  - Im Fernfeld nimmt die Potenzialamplitude mit Abstand zum Quadrat oder mit höherem Exponenten ab, daher wird initial beim Vorschieben ein konstant niedriges Potenzial beobachtet.

- Im Nahfeld spielt die Quell-Sensor-Topologie eine Rolle, quasi der Blickwinkel des Sensors auf den rechtsatrialen Summenvektor zum Zeitpunkt der P-Amplitude.
- Widerstand des Perikards (ca. 160 Ohm×cm für Blut, ca. 500 Ohm×cm für Bindegewebe) führt zu einer Bündelung der Isopotenziallinien. Eine Simulationsrechnung, in welchem Maße die einzelnen Strukturen dazu beitragen, ist nicht trivial.

Benutzt man den Certodyn-Universaladapter, so wird die Katheterspitze zur negativen Elektrode der bipolaren Ableitung. Das elektrisch leitende Medium innerhalb des Katheters ist in unserem Fall der Seldinger-Draht. Die Potenziale aus dem Vorhofmyokard werden über das Blut zur Katheterspitze geleitet. Die positive Hautelektrode sollte ungefähr im Bereich der Herzspitze liegen. Das entspricht der Ableitung II nach Einthoven, bei der die rechte Arm- bzw. Schulterelektrode durch die Spitze des ZVK ersetzt wird. Damit erhält man eine Kurve mit am Vorhofeingang positivem P-Wellen-Ausschlag. Nach Erreichen einer maximalen positiven Auslenkung wird die P-Welle zunächst wieder kleiner, um bei weiterem Vorschieben des Katheters biphasisch zu werden. Der Hauptausschlag weist schließlich in die entgegengesetzte Richtung.

Wir haben diese elektrophysiologischen Phänomene dahingehend interpretiert, dass eine große P-Welle dort zu beobachten sein müsste, wo die „meisten“ Depolarisationen stattfinden. Viele Myozyten, sprich primär kontraktiles Gewebe, befinden sich in der Crista terminalis, der Hauptausbreitungsroute der Erregungsbildung im rechten Vorhof. Ein Katheter, positioniert mit seiner Spitze an P-max, müsste sich daher nahe der Crista terminalis befinden. Deshalb legten wir die ableitende positive Elektrode (Katheterspitze) genau auf P-max.

Die Korrelation der P-Welle zur Position der Katheterspitze wurde in verschiedenen radiologisch kontrollierten Studien zum intravasalen EKG untersucht. Corsten et al. vermuteten, dass P-max beim Übergang von der V. cava superior zum Vorhof auftritt [7]. Nach dem Rück-

zug der Katheter um 3 cm lag die Katheterspitze im Röntgenbild in der V. cava superior oder am Übergang zum Vorhof. In einer anderen Studie führte der Rückzug der Katheter um 3 cm nach Erreichen einer steilen spitzen P-Welle dazu, dass die ZVK-Spitze sich in der unteren Hälfte der V. cava superior befand [17]. In der Untersuchung von McGee et al. lag die Katheterspitze nach Erreichen von P-max im proximalen Vorhof [18]. Diese unterschiedlichen Ergebnisse sind verständlich, wenn man bedenkt, dass im Thoraxbild weder der Übergang zum rechten Vorhof noch die Grenze des Perikardsacks genau zu bestimmen ist [2, 3]. Es werden daher verschiedene thorakale Strukturen als Surrogatmarker für die Katheterpositionierung herangezogen: Dazu gehören, außerhalb der Herzsilhouette [6], nicht mehr als 2 cm distal der unteren Klavikulargrenze [13] auf Höhe der Trachealbifurkation [30]. Es wird angestrebt den Katheter in der größtmöglichen Vene, idealerweise außerhalb des Herzens und parallel zur Längsachse des Gefäßes [9] sowie kranial der perikardialen Umschlagfalte zu platzieren [4]. Die FDA-Richtlinien empfehlen: „The catheter should not be placed in or allowed to migrate into the heart“ [10]. Aus diesem Grund wird seit langem empfohlen, die Katheterspitze oberhalb der Herzsilhouette zu positionieren [6]. Allerdings wird diese Strategie durch den häufig undeutlichen oberen Seitenrand der radiologischen Herzsilhouette sowie durch die Tatsache, dass das Perikard normalerweise die großen Gefäße auf einer Strecke von 2–3 cm überzieht, limitiert [30].

Die Positionierung der Katheterspitze oberhalb der radiologischen Grenze des Übergangs der V. cava superior in den Vorhof (der obere Rand des Herzschattenbildes) kann daher doch dazu führen, dass die Katheterspitze unterhalb des Niveaus der perikardialen Umschlagfalte zu liegen kommt. Liegen Katheterspitzen unterhalb der perikardialen Umschlagfalte, besteht bei Perforation immer die Gefahr einer Herzbeutel tamponade. Bei der intravasalen Elektrokardiographie gilt, dass ein Zurückziehen der Katheter auf ein normales P und um weitere 2–3 cm ebenfalls eine Position der Spitze mitten in der V. cava superior zur Folge hat. Bei der Anlage der Ka-

theter von links besteht allerdings die Gefahr, dass der Katheter in einem ungünstigen Winkel zur Venenwand liegt; dies sollte aus bereits dargelegten Gründen vermieden werden.

Um Schäden an Venenklappen und Herzwand zu verhindern sowie einen optimalen Fluss zu erreichen, bevorzugten wir die Platzierung der Katheterspitze am Übergang der V. cava superior zum rechten Vorhof nahe der Basis der Crista terminalis. Dort kann es aus anatomischen Gründen nicht zur Winkelbildung zwischen Venenwand und Katheter kommen, sodass die Perforationsgefahr minimiert wird.

Unsere eindeutigen Ergebnisse scheinen unsere Theorie zu unterstützen, dass die maximale Vergrößerung (P-max) der P-Welle den Erregungsablauf durch die Crista terminalis reflektiert.

Zum ersten Mal wurde bei Erwachsenen mithilfe eines exakten Nachweisverfahrens für die ZVK-Position (TEE) die Einführtiefe mit der Körpergröße in Bezug gesetzt. Trotz einheitlicher Punktionsstelle betrug die Spannweite der korrekten Einführtiefe bei gleicher Körpergröße bis zu 8 cm (■ **Abb. 4**). Die Einführtiefe des ZVK nur durch eine auf der Körpergröße basierenden Formel festzulegen, erscheint daher gefährlich [8, 22].

Zu den Limitationen der intravasalen Elektrokardiographie zählen z. B. Herzrhythmusstörungen und nichteindeutige EKG-Veränderungen. Richtig angewandt, zeichnet sich diese Methode aber durch hohe Zuverlässigkeit, leichte Durchführbarkeit, geringen Zeitaufwand, sofortige Korrekturmöglichkeit, fehlende Strahlenbelastung, inklusive fehlender Kontrastmittelzwischenfälle, sowie geringe Kosten aus.

Im Unterschied zu anderen Studien sind die Punktionsorte unserer Untersuchung vergleichbar, und das Verhältnis der Punktionsseiten ist ausgewogen [7, 15, 20, 23]. Nicht untersucht wurde allerdings die Lageveränderung der ZVK-Spitze durch Anteflexion des Kopfes bzw. durch Kopfdrehung. Wir halten es für verfrüht, aus unserer Untersuchung eine verbindliche Empfehlung abzuleiten, aber diese eindeutigen Ergebnisse legen nahe, die gängige Praxis – zumindest für beatmeten Patienten – neu zu überdenken.



## Fazit für die Praxis

Die intravasale Elektrokardiographie ermöglicht die Spitze zentraler Venenkatheter am Übergang der V. cava superior zum rechten Vorhof nahe der Crista terminalis zu positionieren, wenn er an der Stelle der maximalen P-Wellen-Amplitude fixiert wird. Bereits am Vorhofeingang und nicht erst im Vorhof wurde bei unseren 200 ZVKs ein maximaler P-Wellen-Ausschlag abgeleitet. Dies steht im Widerspruch zur gängigen Auffassung. Bei Kathetern von links entfällt an dieser Position die Gefahr der Winkelbildung mit der Venenwand; die Gefahr der Perforation ist minimiert. Die Anwendung von Formeln zur Festlegung der Einführtiefe von ZVKs kann nur als grober Anhaltspunkt dienen. Der Ausschluss punktionsbedingter Komplikationen gehört aber weiter zur ärztlichen Sorgfaltspflicht, die intravasale Elektrokardiographie entbindet daher nicht von klinischen Funktionstesten und radiologischen Kontrollen. Die klinische Verschlechterung eines Patienten mit ZVK kann immer auch durch den Katheter selbst verursacht sein.

## Korrespondierender Autor

Dr. W. Schummer

Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie,  
Friedrich-Schiller-Universität,  
Erlanger Allee 103, 07747 Jena  
E-Mail: cwschummer@gmx.de

## Danksagung

Unser Dank gilt Frau Brandstädt vom Institut für Medizinische Statistik, Informatik und Dokumentation der Friedrich-Schiller-Universität, Jena, für die Hilfe bei der statistischen Auswertung und Herrn PD Uwe Leder aus der Klinik für Innere Medizin III für die Diskussion der elektrophysiologischen Phänomene.

**Interessenkonflikt:** Der korrespondierende Autor weist auf eine Verbindung mit folgender Firma/Firmen hin: Dr. W. Schummer ist als Berater für die Fa. B. Braun tätig gewesen.

## Literatur

1. Andropoulos DB, Stayer SA, Bent ST, Campos CJ, Bezold LI, Alvarez M, Fraser CD (1999) A controlled study of transesophageal echocardiography to guide central venous catheter placement in congenital heart surgery patients. *Anesth Analg* 89:65–70

2. Aslamy Z, Dewald CL, Heffner JE (1998) MRI of central venous anatomy: implications for central venous catheter insertion. *Chest* 114:820–826
3. Caruso LJ, Gravenstein N, Layon AJ, Peters K, Gabrielli A (2002) A better landmark for positioning a central venous catheter. *J Clin Monit Comput* 17:331–334
4. Chalkiadis GA, Goucke CR (1998) Depth of central venous catheter insertion in adults: an audit and assessment of a technique to improve tip position. *Anaesth Intensive Care* 26:61–66
5. Cohn LH, Edmunds LHJ (2003) *Cardiac surgery in the adult*. McGraw-Hill Professional, New York
6. Collier PE, Blocker SH, Graff DM, Doyle P (1998) Cardiac tamponade from central venous catheters. *Am J Surg* 176:212–214
7. Corsten SA, Dijk B van, Bakker NC, Lange JJ de, Scheffer GJ (1994) Central venous catheter placement using the ECG-guided Cavafix-Certodyn SD catheter. *J Clin Anesth* 6:469–472
8. Czepizak CA, O'Callaghan JM, Venus B (1995) Evaluation of formulas for optimal positioning of central venous catheters. *Chest* 107:1662–1664
9. Fletcher SJ, Bodenham AR (2000) Safe placement of central venous catheters: where should the tip of the catheter lie? *Br J Anaesth* 85:188–191
10. Food and Drug Administration (1989) Precautions necessary with central venous catheters. *FDA Task Force. FDA Drug Bull*:15–16
11. Gravenstein N, Blackshear RH (1991) In vitro evaluation of relative perforating potential of central venous catheters: comparison of materials, selected models, number of lumens, and angles of incidence to simulated membrane. *J Clin Monit* 7:1–6
12. Gray H (2005) *Gray's anatomy*. Elsevier Churchill Livingstone, Edinburgh
13. Greenall MJ, Blewitt RW, McMahon MJ (1975) Cardiac tamponade and central venous catheters. *BMJ* 2:595–597
14. Hellerstein HK, Pritchard WH, Lewis RL (1949) Recording of intracavity potentials through a single lumen, saline filled catheter. *Proc Soc Exp Biol Med* 71:58–60
15. Koscielniak-Nielsen ZJ, Otkjaer S, Hansen OB, Hemmingsen C (1991) CVP catheter electrocardiography: an alternative to radiographic control after cannulation of central veins? *Acta Anaesthesiol Scand* 35:762–766
16. Macfarlane PW, Lawrie TDV (1989) *Comprehensive electrocardiology*. Pergamon Press, New York
17. Madan M, Shah MV, Alexander DJ, Taylor C, McMahon MJ (1994) Right atrial electrocardiography: a technique for the placement of central venous catheters for chemotherapy or intravenous nutrition. *Br J Surg* 81:1604–1605
18. McGee WT, Ackerman BL, Rouben LR, Prasad VM, Bandi V, Mallory DL (1993) Accurate placement of central venous catheters: a prospective, randomized, multicenter trial. *Crit Care Med* 21:1118–1123
19. Michaelis G, Biscopio J (1998) Entwicklung und derzeitiger Stand der elektrokardiographischen Lagekontrolle zentralvenöser Katheter. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 33:106–110
20. Michaelis G, Biscopio J, Hempelmann G (1988) Die Platzierung des zentralvenösen Katheters unter EKG-Kontrolle. *Anesthesiol Intensivmed* 30:272–278
21. Miller JA, Singireddy S, Maldjian P, Baker SR (1999) A reevaluation of the radiographically detectable complications of percutaneous venous access lines inserted by four subcutaneous approaches. *Am Surg* 65:125–130
22. Peres PW (1990) Positioning central venous catheters – A prospective survey. *Anaesth Intensive Care* 18:536–539
23. Salmela L, Aromaa U (1993) Verification of the position of a central venous catheter by intra-atrial ECG. When does this method fail? *Acta Anaesthesiol Scand* 37:26–28
24. Schummer W, Schummer C, Reinhold L (2002) Differenzialdiagnose linksthorakaler Venenkatheter am Beispiel einer persistierenden linken oberen Hohlvene. *Anaesthesist* 51:726–730
25. Schummer W, Herrmann S, Schummer C et al. (2003) Intra-atrial ECG is not a reliable method for positioning left internal jugular vein catheters. *Br J Anaesth* 91:481–486
26. Schummer W, Schummer C, Schelenz C et al. (2004) Central venous catheters – The inability of 'intra-atrial ECG' to prove adequate positioning. *Br J Anaesth* 93:193–198
27. Schummer W, Schummer C, Müller A, Steenbeck J, Fuchs J, Bredle D, Hüttemann E (2004) ECG-guided central venous catheter positioning: does it detect the pericardial reflection rather than the right atrium? *Eur J Anaesthesiol* 21:600–605
28. Schummer W, Schummer C, Paxian M, Frober R, Settmacher U (2005) ECG recording of central venous catheter misplaced in inferior thyroid artery. *Br J Anaesth* 94:296–299
29. Schummer W, Schummer C, Paxian M, Stock U, Richter K, Bauer M (2005) Extravasale Lage von zentralen Venenkathetern bei korrekter EKG-Ableitung. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 40:91–96
30. Schuster M, Nave H, Piepenbrock S, Pabst R, Panning B (2000) The carina as a landmark in central venous catheter placement. *Br J Anaesth* 85:192–194
31. Shanewise JS, Cheung AT, Aronson S et al. (1999) ASE/SCA guidelines for performing a comprehensive intraoperative multiplane transesophageal echocardiography examination: recommendations of the American Society of Echocardiography Council for Intraoperative Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force for Certification in Perioperative Transesophageal Echocardiography. *Anesth Analg* 89:870–884
32. Tocino IM, Watanabe A (1986) Impending catheter perforation of superior vena cava: radiographic recognition. *AJR Am J Roentgenol* 146:487–490
33. Vesely TM (2003) Central venous catheter tip position: a continuing controversy. *J Vasc Interv Radiol* 14:527–534
34. Wilson RG, Gaer JA (1988) Right atrial electrocardiography in placement of central venous catheters. *Lancet* 1:462–463
35. Wunderbaldinger P (2001) „Tubes and lines“ im Thoraxröntgenbild: Fehlpositionen und Komplikationen. *Wien Med Wochenschr* 151:524–531